1) Simbologia e definições

SÍMBOLOS GRÁFICOS
(conforme NBR / IEC / DIN)

Símbolo	Descrição
	Resistor
	Resistor variável Reostato
	Resistor com derivações fixas
	Enrolamento / Bobina
	Enrolamento com núcleo magnético e derivações
	Capacitor
	Terra
	Massa (estrutura)
	Contato normalmente aberto (NA)
	Contato normalmente aberto prolongado (NA)
	Contato normalmente fechado (NF)
	Contato normalmente fechado prolongado (NF)
	Contato comutador

Símbolo	Descrição
ou	Contato normalmente aberto (NA) com fechamento temporizado
ou	Contato normalmente fechado (NF) com abertura temporizada
	Disjuntor (unifilar)
3	Disjuntor motor (unifilar) com relés disparadores de sobrecarga e curto-circuito
	Seccionador
	Seccionador sob carga
	Fusível
ou	Tomada e plugue
	Acionamento manual
	Acionamento pelo pé
	Acionamento saliente de emergência
	Bobina de acionamento (ex.:contator)
	Acionamento por sobrecarga (ex.:bimetal)

Símbolo	Descrição
	Acionamento por energia mecânica acumulada
M	Acionamento por motor
	Acionamento com bloqueio mecânico
	Acionamento com bloqueio mecânico em duas direções
	Acionamento com posição fixa
ou	Acionamento temporizado
	Acoplamento mecânico desacoplado
	Acoplamento mecânico acoplado
	Acionamento manual (ex.: seccionador e comutador)
	Acionamento por impulso (ex.: botão e comando)
1 2 3 4 2/3	Acionamento por bloqueio mecânico de múltiplas posições (ex.: comutador de 4 posições)
O	Acionamento mecânico (ex.: chave fim de curso)

Símbolo	Descrição
ou	Acionamento eletromagnético (ex.: bobina de contator)
ou	Acionamento magnético duplo (ex.: bobina com duplo enrolamento)
	Acionamento temporizado no desligamento (ex.: relé de tempo temporizado no desligamento)
	Acionamento temporizado na ligação (ex.: relé de tempo temporizado na ligação)
	Acionamento temporizado na ligação e no desligamento (ex.: relé de tempo temporizado na ligação e desligamento)
	Dispositivo de proteção contra surtos (DPS)
	Sensor
ou ou	Transformador e Transformador de potencial para medição
ou ou	Auto-transformador
ou	Transformador de corrente para medição
M 3 ~	Motor trifásico
	Tiristor

Símbolo	Descrição
	Diodo Zener
	Inversor de freqüência
	Conversor
	Pilha (unidade de energia)
ou	Bateria (várias unidades de energia)
	Buzina
	Campainha

Símbolo	Descrição
	Sirene
	Lâmpadas / Sinalização
	Contator e relé de sobrecarga com contatos auxiliares
	Disjuntor com relés disparadores de sobrecarga e curto-circuito
	Seccionador sob carga
	Seccionador-fusível sob carga
	Disjuntor com relés disparadores de sobrecarga, curto-circuito e subtensão

Definições

• Seccionadores

Tem como função permitir o ligamento ou desligamento de uma carga. Essencialmente é um dispositivo de manobra (mecânico) que assegura, na posição aberta, uma distância de isolamento que satisfaz requisitos de segurança especificados.

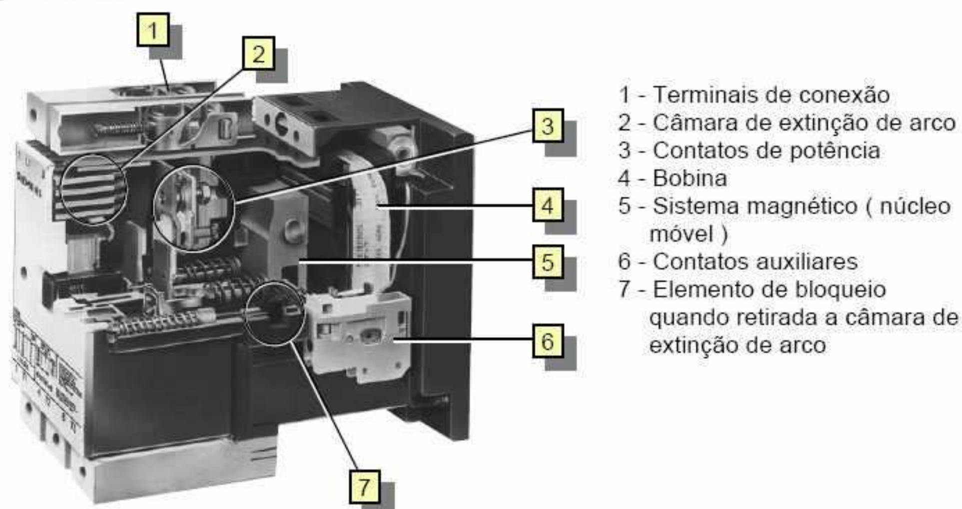
Um seccionador deve ser capaz de fechar ou abrir um circuito, em duas situações mais relevantes: a) Quando a corrente estabelecida ou interrompida é desprezível, e b) Quando não se verifica uma variação significativa na tensão entre terminais de cada um dos seus pólos.

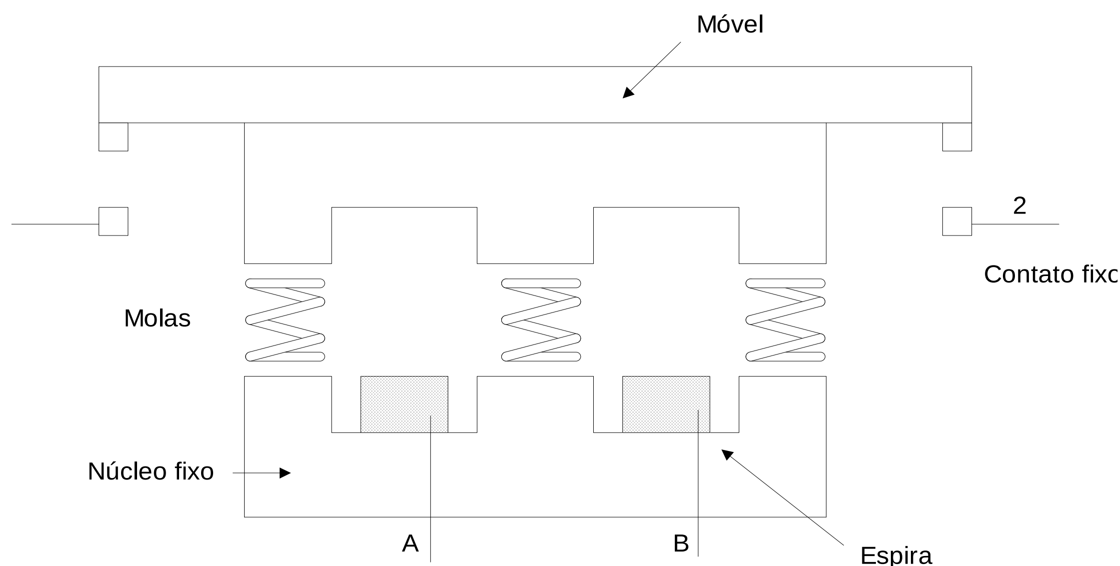
Um seccionador deve ser capaz também de conduzir correntes em condições normais de circuito, e também de conduzir por tempo especificado, as correntes em condições anormais do circuito, tais como as de curto-circuito.

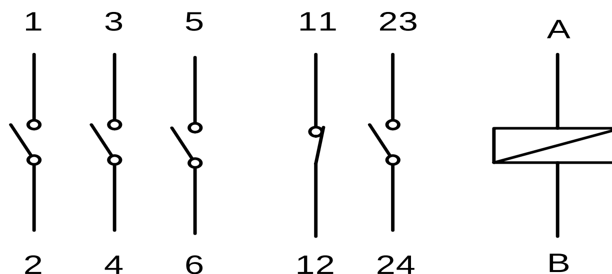
• Interruptor

È também considerado um seccionador. É uma chave seca de baixa tensão, de construção e características elétricas adequadas à manobra de circuitos de iluminação em instalações prediais, de aparelhos eletrodomésticos e luminárias, e aplicações equivalentes.
Nota: Essa manobra é entendida como sendo em condições nominais de serviço. Portanto, o interruptor deve interromper cargas nominais.

• **Contator**
Os Seccionadores que podem ser comandados á distancia e que possuem contatos de diferentes amperagens são chamados de contatore. São dispositivos de manobra (mecânico) de operação não manual, que tem uma única posição de repouso e é capaz de estabelecer (ligar), conduzir e interromper correntes em condições normais do circuito, inclusive sobrecargas de funcionamento previstas.
É o principal elemento existente nos sistemas de acionamento. Sua função básica é permitir que um certo circuito energize determinada carga (motor, reator, capacitor). Faz isto instantaneamente ou através de temporização.







Funcionamento do contator.

Conforme definido e comentado anteriormente, o contator é um dispositivo de manobra não manual e com desligamento remoto e automático, seja perante sobrecarga (através do relé de sobrecarga) seja perante curto-circuito (através de fusíveis). Quem liga e desliga o contator é a condição de operação de uma bobina eletromagnética, indicada no desenho acima.

Essa bobina, no estado de desligado do contator, ou seja, contato fixo e contato móvel abertos, também está desligada ou desenergizada. Seu principio de funcionamento baseia-se na força magnética que tem origem na energização de uma bobina e na força mecânica proveniente do conjunto de molas que o sistema tem. Quando, por exemplo, através de uma botoeira, a bobina eletromagnética é energizada, o campo magnético criado e que envolve o núcleo magnético fixo, atrai o núcleo móvel, com o que se desloca o suporte de contatos com os contatos principais móveis, vencendo a força das molas, que assim encontram os contatos principais fixos, fechando o circuito.

Estando o contator ligado (a bobina alimentada), e havendo uma condição de sobrecarga prejudicial aos componentes do sistema, o relé de proteção contra sobrecarga (bimetálico ou eletrônico) interromperá um contato NF desse relé, que está em série com a bobina do contator, no circuito de comando. Com a abertura do contato é desenergizada a bobina eletromagnética, o contator abre e a carga é desligada.

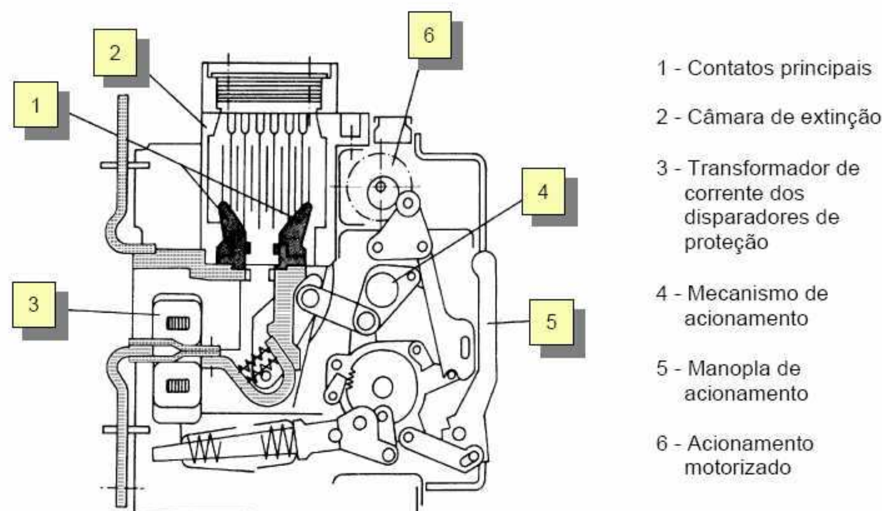
Para efeito de religação, essa pode ser automática ou de comando remoto, dependendo as condições a serem atendidas pelo processo produtivo ao qual esses componentes pertencem.

Além dos contatos principais, um contator possui contatos auxiliares dos tipos NA e NF, em número variável e informado no respectivo catálogo do fabricante. (Lembrando: NA significa **N**ormalmente **A**berto e NF, **N**ormalmente **F**echado). As peças de contator têm seus contatos feitos de metal de baixo índice de oxidação e elevada condutividade elétrica, para evitar a criação de focos de elevada temperatura, o que poderia vir a prejudicar o seu funcionamento. Nesse sentido, o mais freqüente é o uso de liga de prata.

• **Disjuntor.**

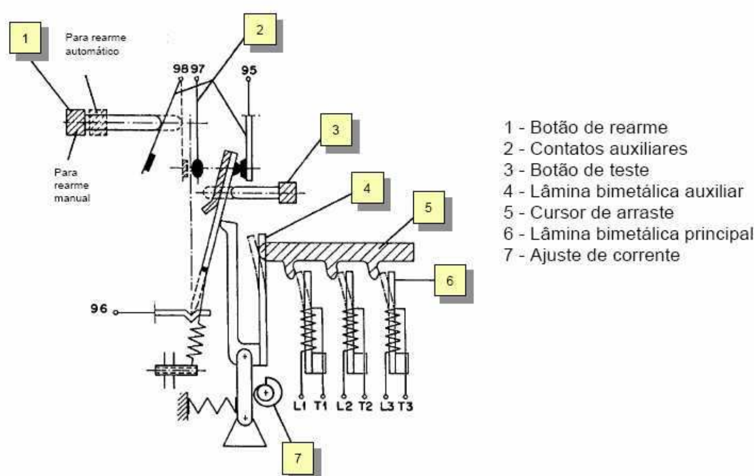
Dispositivo de manobra (mecânico) e de proteção, capaz de estabelecer (ligar), conduzir e interromper correntes em condições normais do circuito, assim como estabelecer, conduzir por tempo especificado e interromper correntes em condições anormais especificadas do circuito, tais como as de curto-circuito.

Tem como função garantir a proteção, abertura e fechamento de um circuito sem o risco de arco elétrico. Existem disjuntores a óleo e a Hexafluoreto de Enxofre (SF_6).



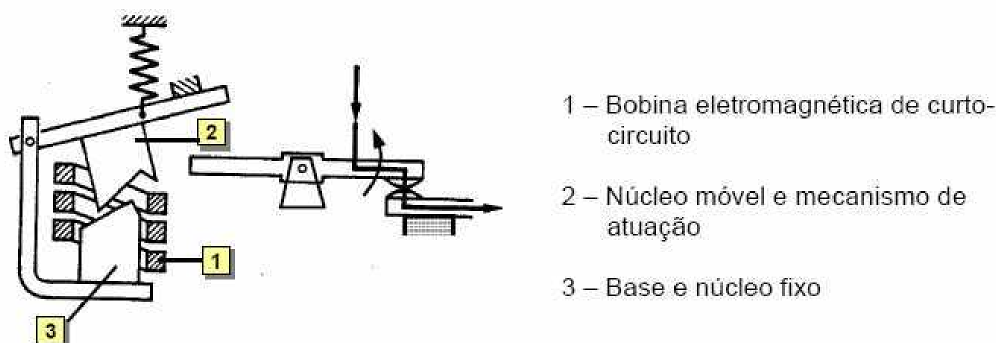
• **Relé Térmico**

É constituído de um par metálico. São lâminas bimetálicas feitas em geral de ligs de níquel-ferro.
Tem objetivo principal a proteção do sistema quando da elevação da temperatura nos condutores a ele ligado de forma a evitar a degradação dos condutores e/ou equipamentos.
Dispositivo elétrico destinado a produzir modificações súbitas e predeterminadas em um ou mais circuitos elétricos de saída, quando certas condições são satisfeitas no circuito de entrada que controlam o dispositivo.
O relé, seja de que tipo for, não interrompe o circuito principal, mas sim faz atuar o dispositivo de manobra desse circuito principal. Assim, por exemplo, existem relés que atuam em sobrecorrente de sobrecarga ou de curto-circuito, ou de relés que atuam perante uma variação inadmissível de tensão.
Os relés de sobrecorrente perante sobrecarga (ou simplesmente relés de sobrecarga), por razões construtivas, podem ser térmicos (quando atuam em função do efeito Joule da corrente sobre sensores bimetálicos), ou então eletrônicos, que atuam em função de sobrecarga e que podem adicionalmente ter outras funções, como supervisão dos termistores (que são componentes semicondutores).



Relés de Sobrecorrente contra correntes de curto-circuito.
Esses relés são do tipo eletromagnético, com uma atuação instantânea, e se compõe com os relés de sobrecarga para criar a proteção total dos componentes do circuito contra a ação prejudicial das correntes de curto-circuito e de sobrecarga, respectivamente. A sua construção é relativamente simples em

comparação com a dos relés de sobrecarga (bimetálicos ou eletrônicos), podendo ser esquematizado, como segue:



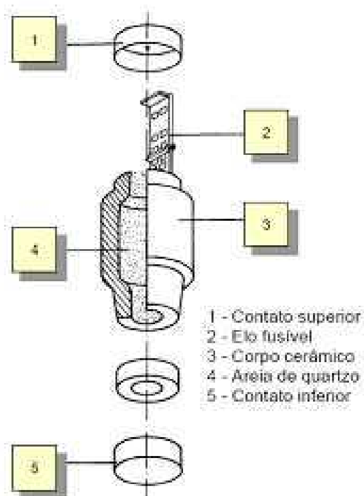
A bobina eletromagnética do relé é ligada em série com os demais componentes do circuito. Sua atuação apenas se dá quando por esse circuito passa a corrente I_k, permanecendo inativo perante as correntes nominais (I_n) e de sobrecarga (I_r). Pelo que se nota, a sua função é idêntica à do fusível, com a diferença de que o fusível queima ao atuar, e o relé permite um determinado número de manobras.

• Fusível encapsulado

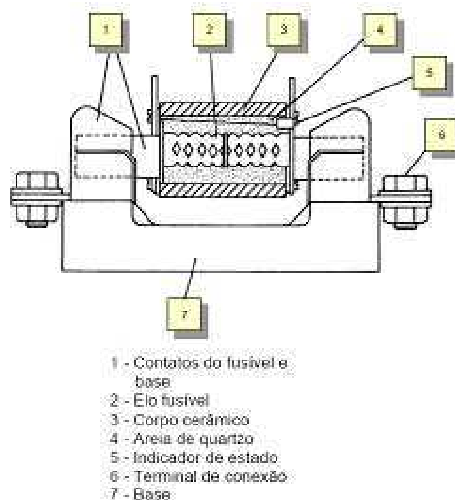
Fusível cujo elemento que se funde é completamente encerrado num invólucro fechado, o qual é capaz de impedir a formação de arco externo e a emissão de gases, chama ou partículas metálicas para o exterior quando da fusão do elemento fusível, dentro dos limites de sua característica nominal.

Tem como função a proteção contra curto circuitos nos condutores que alimentam a carga. O elemento fusível, para desempenhar sua ação de interrupção de acordo com uma característica de fusão tempo x corrente perfeitamente definida, como demonstrada nesse item, deve ser fabricado de um metal que permita a sua calibragem com alta precisão. Para tanto, o metal deve ser homogêneo, de elevada pureza e de dureza apropriada (materiais moles não permitem essa calibragem). A melhor solução encontrada, na área de fusíveis de potência, foi usando–se o cobre.

Fusíveis Diazed.



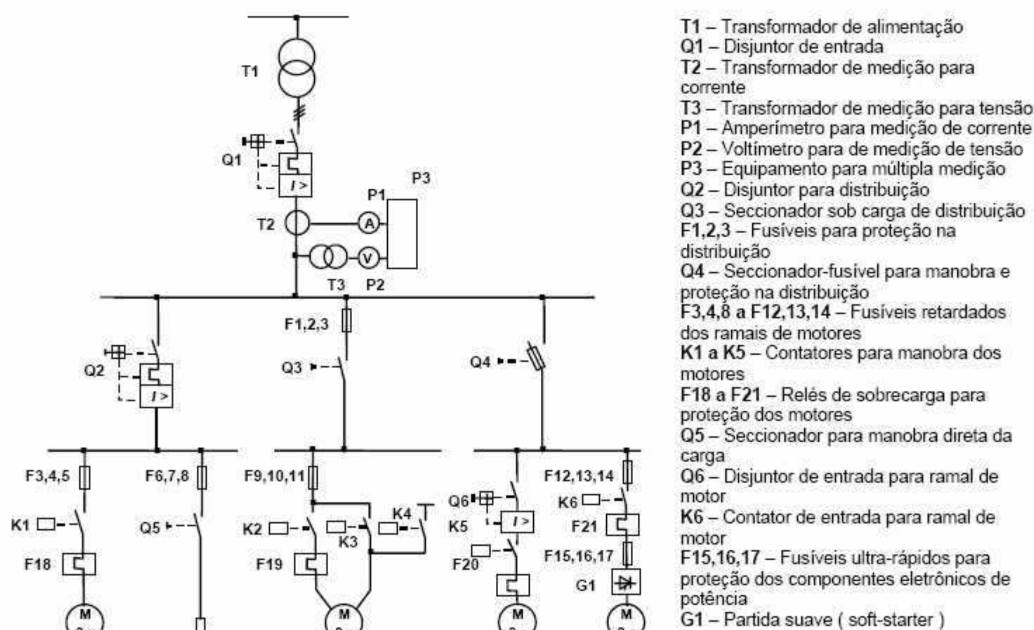
Fusíveis NH.



Pára-raio
Elemento de proteção contra sobretensões causados por descargas atmosféricas que porventura caiam em uma linha de transmissão ou de distribuição. Tendo como função escoar a corrente proveniente do raio para a Terra.

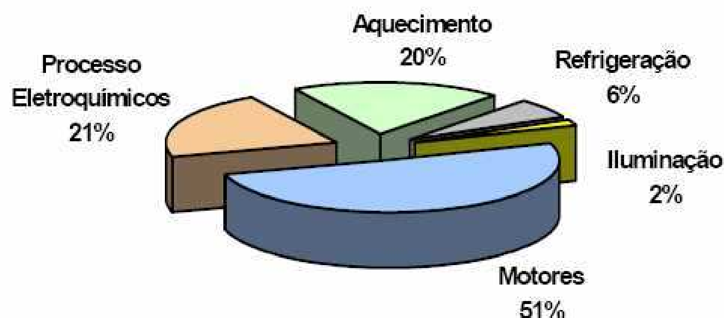
Transformador de força
Tem como função elevar ou reduzir a tensão em um determinado trecho do sistema mantendo-se a freqüência inalterada.

Exemplo de um sistema completo com diversos componentes (unifilar)

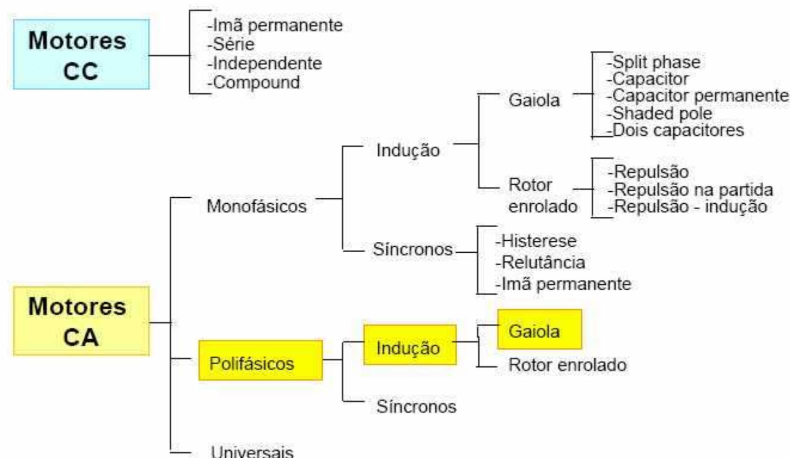


2)Dados de placa de Motor

Os motores elétricos são a principal carga industrial que encontramos ligada ao sistema elétrico de potência.
Em termos globais, de recente levantamento estatístico, o mercado brasileiro de consumo se apresenta como representado abaixo.



Dos diversos tipos de motores, representados no que segue, cerca de 85-90 % se concentram nos motores de corrente alternada (CA), trifásicos, de indução com gaiola de esquilo, que, apesar de não serem necessariamente os eletricamente melhores, são os mais robustos e baratos. Essa é a razão de sua preferência.
Tais motores, até há pouco tempo atrás, eram freqüentemente fabricados com elevadas perdas, o que evidentemente prejudicava o seu uso racional e dava um mal aproveitamento a energia gerada. Atualmente, porém, apesar de um custo um pouco mais elevado na aquisição, os motores de alto rendimento tem sido preferidos, até porque o custo a mais é compensado pelas menores perdas no motor.



Os motores elétricos possuem uma placa identificadora, colocada pelo fabricante, na qual pelas normas, deve ser fixada em local bem visível.
Para instalar adequadamente um motor, é imprescindível que o instalador saiba interpretar os dados de placa. Estes dados são:
nome e dados do fabricante, modelo (MOD), potência (cv, HP, kW), número de fases (por exemplo, TRIFÁSICO ou 3ϕ), tensões nominais (V), freqüência nominal (Hz), categoria (CAT), correntes nominais (A), velocidade nominal (RPM), fator de serviço (FS), classe de isolamento (ISOL. CL.), letra-código (COD), regime (REG), grau de proteção (PROTEÇÃO IP) , tipo de ligação.

Se não for possível a leitura destes dados, é necessária a análise através de ensaios destas características:

a)Tensão nominal (V_n) : Esta é a tensão de linha a qual o motor deve ser submetido em condições normais. Pela norma brasileira todo o motor deve ser capaz de funcionar satisfatoriamente quando alimentado tanto com tensão 10% abaixo como 10% acima da tensão nominal, desde que a freqüência seja a nominal. Normalmente dão se dois valores (delta e estrela). O menor é o valor o qual a bobina do motor suporta.

b) Potência Nominal: É a potência mecânica máxima que o motor pode fornecer no seu eixo em regime de trabalho normal. Trata-se, portanto, da potência de saída do motor, a qual está especificada na placa. Na prática utilizam-se as unidades de CV, HP e W e seus múltiplos. (1HP=746W e 1CV=736W)

c) Número de fases: Quantas fases tem o motor. Geralmente são três ou uma fase somente.

d)Tipo do motor: Pode ser de corrente contínua (shunt, paralelo, composto ou independente) ou corrente alternada. Os de corrente alternada se dividem em dois grupos: os motores assíncronos ou de indução ou os motores síncronos (com pólos salientes ou lisos).

e) Freqüência: É a freqüência da rede de alimentação do motor, expressa em Hz, no Brasil a freqüência padronizada é de 60 Hz, porém no resto da América latina e Europa é 50Hz. Deve-se salientar que é possível utilizar-se um motor de 50 Hz na freqüência de 60 Hz, contudo as características de partida e de funcionamento serão alteradas, havendo em geral uma alteração na potência nominal. (Itaipu tem geração nas duas freqüências)

f) Fator de Potência (cos φ): É a defasagem angular entre a tensão e a corrente no motor.

g) Rendimento (μ): Relação entre potência de entrada e de saída (os motores de alto rendimento tem rendimento 88.5 %) com apresentado abaixo no exemplo.

h) Corrente Nominal (I_N): É a corrente que o motor solicita da rede sob tensão, freqüência e potência nominais. O valor da corrente depende do rendimento e do fator de potência do motor sendo dado pela seguinte relação:

- motor trifásico

$$I_N = \frac{P(cv)*736}{\sqrt{3}*V*\cos\varphi*\mu} = \frac{P(hp)*746}{\sqrt{3}*V*\cos\varphi*\mu} \qquad (1)$$

- motor monofásico

$$I_N = \frac{P(cv)*736}{V*\cos\varphi*\mu} = \frac{P(hp)*746}{V*\cos\varphi*\mu} \qquad (2)$$

Exemplo: Dado um motor de 15 hp (11,18kW), trifásico de 220V fase com fator de potência de 90% e rendimento de 80%. Qual a corrente nominal?

$$I_N = \frac{15*746}{\sqrt{3}*220*0.9*0.8} = 40A \qquad (3)$$

i)Letra código (I_P/I_N): Letra código é a relação existente entre a potência de rotor bloqueado e a potência nominal. A NEMA define os códigos de letras conforme a tabela abaixo:

Letra Código	**KVA que o motor necessita para partida direta (por KVA)**
A	0,00 a 3,14
B	3,15 a 3,54
C	3,55 a 3,99
D	4,00 a 4,49
E	4,50 a 4,99
F	5,00 a 5,59
G	5,60 a 6,29
H	6,30 a 7,09
J	7,10 a 7,99
K	8,00 a 8,99
L	9,00 a 9,99
M	10,00 a 11,19
N	11,20 a 12,49
P	12,50 a 13,99
R	14,00 a 15,99
S	16,00 a 17,99
T	18,00 a 19,99
U	20,00 a 22,39
V	22,40

Para a ABNT, 5 códigos são definidos, conforme a tabela seguinte:

Letra Código	**Corrente de partida direta (Motores com enrolamento tipo gaiola)**

A	ALTA	Até 6 x I_N
B	NORMAL	3,80 a 6,00 x I_N
C	NORMAL	3,80 a 6,00 x I_N
D	NORMAL	3,80 a 6,00 x I_N
F	BAIXA	Até 4 x I_N

j)Fator de serviço: É um fator que aplicado à potência nominal, indica a carga permissível que pode ser aplicada ao motor. Esse fator refere-se a uma capacidade de sobrecarga contínua, ou seja, uma reserva de potência que dá ao motor uma capacidade de suportar melhor o funcionamento em condições desfavoráveis. O motor que tem funcionamento intermitente tem fator de serviço alto.

k)Corrente de partida ($I_{partida}$): É a corrente solicitada pelo motor para ele entrar em regime. A obtenção é feita pela relação I_P/I_N que normalmente vem descrito na placa.

Exemplo: Motor de 2,5 cv com tensão de 220v , cos φ=0.8 e rendimento=0.96. letra código G e I_P/I_N=5,75

Resposta: I_N=6,6A e I_P=37,7A

l)Rotação nominal(ω_n) e rotação síncrona (ω_s):
É a velocidade (rpm) do motor funcionando à potência nominal, sob tensão e freqüência nominais. Para motores síncronos, esta é a velocidade que o motor gira realmente. A velocidade n_1 do campo magnético girante do estator está relacionada com a freqüência da rede e o número P de pólos do motor através da seguinte equação:

$$f_1 = \frac{P.n_1}{100} \therefore n_1 = \frac{120 \cdot f_1}{P} \qquad (4)$$

Para motores assíncronos ou de indução, o motor gira com velocidade inferior a de sincronismo.

O rotor do motor de indução gira a uma velocidade n menor do que a velocidade n_1 do campo magnético girante do estator: A diferença entre as duas velocidades é chamada *escorregamento*. Devido ao escorregamento, um campo magnético girante é induzido no enrolamento do rotor e, da interação entre os dois campos magnéticos, resulta o *conjugado eletromagnético do motor* que o faz girar. O escorregamento é tomado sempre em valores percentuais ou em p.u. da velocidade síncrona, ou seja:

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} \therefore n = n_1(1 - s) \qquad (5)$$

Estamos utilizando nas equações (4) e (5) a letra *n* para representar a velocidade do motor em RPM. Em muitas equações que serão apresentadas mais adiante a velocidade será dada em radianos por segundo e representada pela letra grega ω. A relação entre as duas grandezas é dada pela equação (6).

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \qquad (6)$$

Conforme visto anteriormente, a velocidade mecânica depende do escorregamento, do número de pólos e da freqüência da rede de alimentação. A velocidade do motor de indução varia muito pouco entre a condição a vazio e plena carga, cerca de 10%. Desta forma, o motor de indução alimentado a partir da rede da concessionária não é muito adequado onde se exige velocidade variável. No entanto, quando alimentado por meio de um conversor estático, a variação de velocidade é possível numa faixa bastante ampla.

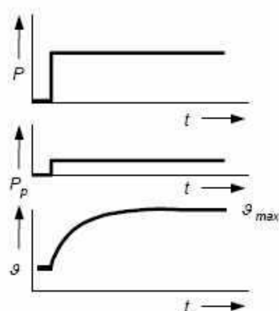
Exercício:

Uma indústria tem um motor de 3ϕ com 5cv de potência, 2 pólos, velocidade nominal de 3520 rpm. Outro motor de 2,5cv e 4 pólos apresenta na sua placa um escorregamento de 3%. Ambos são alimentados pela

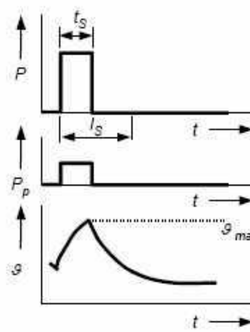
rede com freqüência de 60 Hz. Para o motor de 2,5 cv usamos um tacômetro que possui várias escalas de medidas. 0 a 600 rpm, 600 a 1200 rpm, 1200 a 2400 rpm e 2400 a 3600 rpm.
A)O tacômetro deve ter qual escala?
B)Qual será o escorregamento do motor de 5 cv?

m)Regime de serviço: O regime é o grau de regularidade da carga a que o motor é submetido. Os motores normais são projetados para regime contínuo, isto é, um funcionamento com carga constante, por tempo indefinido, desenvolvendo potência nominal. São previstos, por norma, vários tipos de regimes de funcionamento.

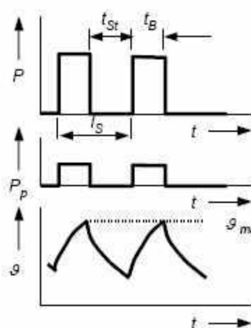
Regimes de serviço



S_1: Serviço contínuo

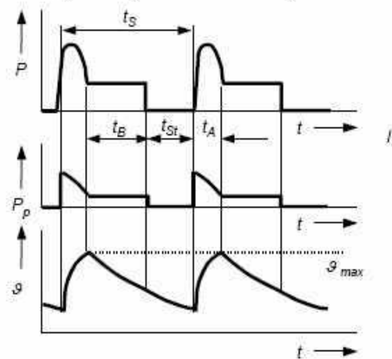


S_2: Serviço de breve duração



S_3: Serviço intermitente sem influência da partida

Fator de duração do ciclo: $t_r = \dfrac{t_B}{t_B + t_{St}}$



S_4: Serviço intermitente com influência da partida

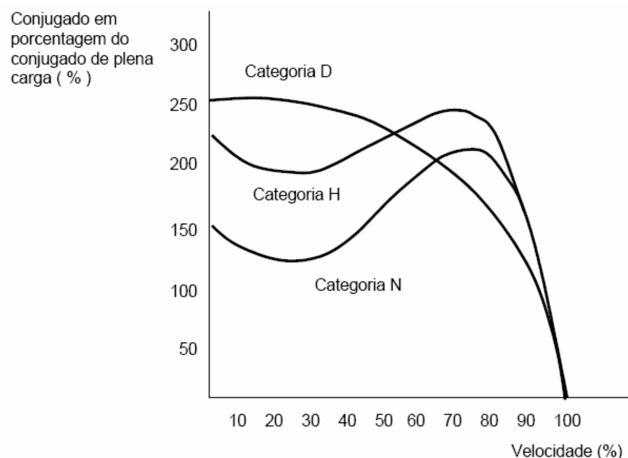
Fator de duração do ciclo: $t_r = \dfrac{t_A + t_B}{t_A + t_B + t_{St}}$

No **Regime Continuo S1**, o motor aciona uma carga constante durante um tempo suficientemente longo para ele atingir sua temperatura de equilíbrio térmico. Este tempo é da ordem de 4 a 5 vezes a constante de tempo térmica de aquecimento do motor. A elevação de temperatura Θ_m indicada na figura é o máximo valor que ela pode atingir para aquela carga. *Ela varia com a carga no eixo do motor, mas não poderá nunca ser superior à temperatura correspondente à classe de isolamento térmico do motor.*
Portanto, para se considerar que um motor opera em regime contínuo S1 é necessário que ele opere pelo menos o tempo suficiente para atingir a temperatura de equilíbrio térmico. A partir daí, é comum seu funcionamento se prolongar por várias horas, dias, ou meses, sem interrupções. Os exemplos clássicos de máquinas que trabalham em regime S1 são os ventiladores, exaustores, bombas de movimentação de produtos nas indústrias químicas e refinarias, compressores de ar, bombas de alimentação de caldeiras a vapor, etc.
Uma variação deste regime, que ocorre muito na prática, é o *regime contínuo com carga variável,* não definido pelas normas, o qual, como o próprio nome indica, é um regime de trabalho em que a carga no eixo do motor é contínua, porém, varia ao longo do tempo. A velocidade do motor é considerada constante para todas as condições de carga. Um exemplo típico deste tipo de carga pode ser encontrado nas bombas que alimentam os reservatórios de água das cidades cujo consumo varia ao longo do dia.

No **Regime de Tempo limitado S2,** o motor aciona uma carga constante durante um tempo relativamente curto, seguido de um tempo de repouso suficientemente longo para que a sua temperatura retorne à temperatura do meio ambiente refrigerante. Por esta descrição sucinta do regime S2 podemos deduzir que o motor que opera neste tipo de regime, e que foi fabricado para operar em regime S1, teria condições de acionar uma carga maior do que a que ele acionaria no regime contínuo S1. A relação entre as perdas admissíveis do motor no regime S2 e as perdas nominais no regime S1 deve ser tal que, durante o tempo de funcionamento em carga constante, a elevação de temperatura não ultrapasse o valor máximo Θ_m admissível pela sua classe de isolamento térmico. Os exemplos típicos de máquinas que operam neste tipo de regime são os portões elétricos, sistemas de báscula, dispositivos para abertura e fechamento de válvulas, etc.
Os motores que operam em regimes S2 são motores especiais e possuem indicada, na sua placa de identificação, a potência que eles desenvolvem nesta condição de trabalho, seguida do tempo máximo que eles podem funcionar com carga constante. Os valores de tempo recomendados pelas normas são 10 minutos, 30 minutos, 60 minutos e 90 minutos. Hoje em dia, os fabricantes de motores elétricos só fabricam este tipo de motor sob encomenda. Além disso, os motores fabricados para o regime S1, que são motores de linha normal de fabricação, podem ser especificados para operar em regime de tempo limitado, como será mostrado mais adiante.
No **Regime Intermitente Periódico S3,** o motor aciona uma carga que repete uma seqüência de ciclos de trabalho idênticos, cada ciclo constituído de um período de trabalho a carga constante, seguido de um período de repouso. Após ter operado um tempo suficiente longo, sua elevação de temperatura fica oscilando entre um valor máximo Θ_m, correspondente à sua classe de isolamento térmico e um valor Θ_o, acima da temperatura ambiente do meio refrigerante. A figura acima mostra o regime S3. Neste tipo de regime não se considera o aquecimento devido às perdas elétricas provocadas pela corrente de partida do motor. Isto significa dizer que o número de partidas do motor durante um período de tempo padronizado (uma hora) deve ser pequeno. A duração de um ciclo padronizado pelas normas brasileiras no regime S3 é de 10 minutos, o que significa dizer que o motor pode ter, no máximo, 6 partidas por hora.
No **Regime Intermitente Periódico com Partidas S4,** o motor opera em uma seqüência de ciclos idênticos, à semelhança do Regime S3, só que não se pode desprezar a influência do calor produzido pela corrente de partida. Isto significa dizer que num período de tempo padronizado (uma hora) o número de partidas do motor é elevado, comparado com o regime S3. Os motores para operar em regime S4 devem suportar 150, 300 e até 600 partidas num período de uma hora. Como se pode ver pela figura, o calor produzido pela corrente de partida tem influência sobre a temperatura do motor que, após um número elevado de operações, fica oscilando entre dois valores, sendo que o valor inferior é maior do que a temperatura ambiente, e o valor superior não pode ultrapassar o limite correspondente à classe de isolamento térmico.

n) Categorias de Conjugado
Variando a construção das ranhuras, o formato dos condutores dentro dessas ranhuras e o metal utilizado nessa construção, variam os conjugados, notadamente os de partida.
Conforme as suas características de conjugado em relação à velocidade e corrente de partida, os motores são classificados em categorias, cada uma adequada a um tipo de carga. Estas categorias são definidas em norma, e são as seguintes:

Categoria A - Conjugado de partida normal; corrente de partida alta; baixo escorregamento (cerca de 5%). Motores usados onde não há problemas de partidas nem limitações de corrente.
Categoria N: Conjugado e corrente de partida normais, baixo escorregamento. Destinam-se a cargas normais tais como bombas, máquinas operatrizes e ventiladores. Constituem a maioria dos motores encontrados no mercado.
Categoria H: Alto conjugado de partida, corrente de partida normal, baixo escorregamento. Usados para cargas que exigem maior conjugado na partida, como peneiras, esteiras transportadoras, cargas de alta inércia, britadores e trituradores;
Categoria D: Alto conjugado de partida, corrente de partida normal, alto escorregamento (mais de 5%). Usado em prensas excêntricas e máquinas semelhantes, onde a carga apresenta picos periódicos. Usados também em elevadores e cargas que necessitam de conjugados muito altos e corrente de partida limitada.
Categoria F - Conjugado de partida baixo; corrente de partida baixo; baixo escorregamento. Pouco usados, destina-se a cargas com partidas freqüentes, porém sem necessidade de altos conjugados e onde é importante limitar a corrente de partida.



o) Classe de isolamento: A classe de isolamento, indicada por uma letra normalizada, identifica o tipo de materiais isolantes empregados no isolamento do motor. As classes de isolamento são definidas pelo respectivo limite de temperatura; são as seguintes, de acordo com a ABNT (NBR 7034):

Classificação térmica dos motores isolantes

Classe	Temperatura Máxima (ºC)	Temperatura de Serviço (ºC)
Y	90	80
A	105	95
E	120	110
B	130	120
F	155	145
H	180	170
C	Acima de 180	Depende do material

A coluna da esquerda é a classificação dos materiais isolantes por meio de letras recomendadas pelas Normas Brasileiras. Por extensão, os motores recebem a mesma classificação térmica, isto é, motores classes A, B, F, etc. A coluna da direita representa os valores limites de temperatura que os materiais podem suportar. Os materiais das classes A, B e F são os mais comumente usados na fabricação dos motores elétricos industriais. No site da WEG e da SIEMENS há dados mais aprofundados sobre as tintas isolantes.
Os seguintes materiais compõem estas classes:

Classe A: tecidos de algodão, papel, fibras de celulose, seda e similares, todos eles impregnados com verniz.
Classe B: mica, asbesto e fibras de vidro aglomeradas por substâncias orgânicas.
Classe F: os mesmos materiais da classe B impregnados com verniz ou outra substância sintética.

Cada uma dessas classes é formada de materiais, particularmente isolantes, que são os termicamente mais sensíveis, suportando menores temperaturas do que os metais utilizados. Os materiais que suportam as temperaturas mencionadas estão indicados em cada classe da norma, do mesmo modo como o exemplificado na tabela que segue:

Classe	Materiais Isolantes	De aglutinação impregnação ou revestimentos	De impregnação para tratamento do conjunto
F / 155ºC	Fibra de vidro Amianto	Nenhum	-
Temperatura máxima de serviço = 145ºC	Tecido envernizado de fibra de vidro. Mica aglutinada	Resinas alquídicas, poliester de cadeia cruzada e poliuretanos com estabilidade térmica elevada. Resinas silicone-alquídicas	Resinas alquídicas, epoxi, poliester de cadeias e poliuretanos com estabilidade térmica elevada. Resinas silicone-alquídicas e silicone fenólicas e outras de elevada classe de temperatura.

p)Graus de Proteção: O grau de proteção é um código padronizado por norma técnica, formados pelas letras IP (Proteção Intrínseca - Intrisic Protection, em inglês = proteção própria do dispositivo) seguidas de um número de dois algarismos, o primeiro informa o grau de proteção perante a penetração de sólidos; o segundo, líquidos, conforme mostrado no quadro abaixo.

1º algarismo **Proteção contra a penetração de sólidos**	2º algarismo **Proteção contra a penetração de líquidos**
0 – dispositivo aberto (sem proteção)	0 – dispositivo aberto (sem proteção)
1 – evita a penetração de sólidos >50mm	1 – evita a penetração de pingos verticais
2 – idem, de sólidos > 12 mm	2 – idem, de pingos até 15º da vertical
3 – idem, de sólidos > 2,5 mm	3 – idem, de pingos até 60º da vertical
4 – idem, de sólidos > 1 mm	4 – idem, pingos/ respingos de qq. direção
5 – dificultam a penetração de pós	5 – idem, de jatos de água moderados
6 – blindados contra penetração de pós	6 – idem, de jatos de água potentes
	7 – idem, sujeitos a imersão
	8 – idem, sujeitos a submersão

Motor	Classe de proteção	Primeiro algarismo indicativo		Segundo algarismo indicativo
		Proteção contra contatos	Proteção corpos estranhos	Proteção contra água
Refrigeração interna	IP 21 IP 22 IP 23	Contatos com os dedos	Sólidos medianos acima de 12 mm	▪ Queda vertical gotas de água ▪ Gotas de água até 15º com a vertical ▪ Chuvisco até 60º com a vertical
Refrigeração de superfície	IP 44	Contatos com ferramentas ou similares	Sólidos pequenos acima de 1 mm Ø	▪ Projeção de água em todas as direções
	IP 54 IP 55 IP 56	Proteção total	Depósito de poeiras prejudiciais	▪ Projeção de água em todas as direções ▪ Jato de água em todas as direções ▪ Inundações passageiras e fortes radiações
	IP 65 IP 67	Proteção total	Penetração de poeira	▪ Jato de água em todas as direções ▪ Imersão sob condições fixas de pressão e tempo

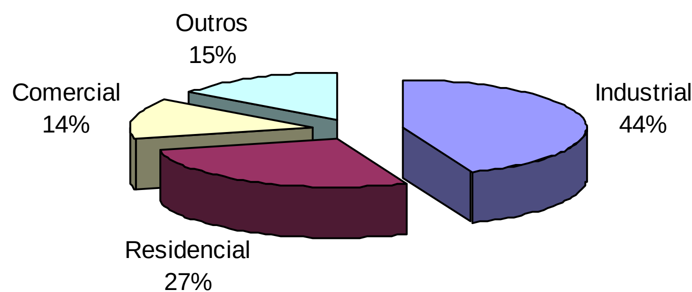
Exemplos.
Um equipamento que vai operar num ambiente externo (portanto sujeito a chuvas), onde as poeiras (sólidos) no ar têm um tamanho de 2 mm, e a proteção necessária é contra pingos e respingos, precisa de um IP dado por: IP 44.

Explicando: na parte sólida, tendo 2 mm, se tivermos um invólucro IP 3, que protege para sólidos > 2,5 mm, a poeira vai penetrar. Logo, será o IP 4. Na parte líquida, a proteção contra pingos e respingos, também é o IP .4
Logo, resulta o GRAU DE PROTEÇÃO correto dado por IP 44.

Outro exemplo:
No ambiente, temos corpos sólidos com um tamanho de 10 mm, mas a instalação é feita em ambiente protegido (onde não existe líquido). Qual o IP necessário?
- Na parte sólida, será o IP 3 (os 2 deixaria os corpos sólidos entrarem), e na parte líquida, será o IP 0 (sem necessidade de proteção).

3) Regras para escolher um motor:

A correta seleção de motores para realizar um acionamento, principalmente nas plantas industriais, constitui um dos mais importantes problemas da eletrotécnica aplicada, pelos aspectos técnicos e econômicos envolvidos. Ao longo de muitos anos, o fato de a energia elétrica ter sido um insumo relativamente barato na composição dos custos dos produtos industriais, criou entre muitos técnicos uma cultura de relativa indiferença quanto a uma correta seleção dos motores elétricos para realizar um determinado acionamento. Desde que o acionador colocasse a máquina em operação na velocidade correta, fornecendo a potência necessária, outros aspectos do problema, tais como superdimensionamento do motor, teriam importância secundária. Porém, com o custo da energia elétrica se tornando cada vez maior, principalmente nas regiões onde ela é gerada a partir de combustíveis fósseis, a preocupação dos engenheiros eletricistas com um melhor rendimento dos motores elétricos e, conseqüentemente, com uma correta escolha do motor para acionar uma determinada máquina, foi se tornando um ponto relevante no problema do acionamento industrial.
Atualmente, a energia elétrica produzida no Brasil é consumida nos seguintes segmentos: 44% é para atender o consumo industrial, 27% é consumo residencial, 14% é consumo comercial e 15% outros setores. Cerca de 49% do consumo industrial é devido aos motores elétricos e também 37% do consumo comercial, o que dá um total de 26,74%. Se levarmos em conta que no consumo residencial há um grande número de motores que acionam aparelhos eletrodomésticos, podemos estimar que o consumo de energia elétrica anual no Brasil pelos motores representa cerca de 30% do total produzido. É, pois, importante que a técnica de escolher motores elétricos para realizar acionamentos seja estudada e aplicada com critérios a fim de se evitar maiores desperdícios de energia.



Uma das maiores dificuldades que se coloca para o eletrotécnico ao lidar com o problema do acionamento é a de fazer uma escolha adequada do motor elétrico dentre os comercialmente disponíveis. Não se trata de calcular um motor elétrico. Este é um problema do fabricante do motor. Trata-se de saber, a partir de informações e dados da máquina, do meio ambiente onde o motor será instalado e dos tipos de motores disponíveis, qual o mais adequado para realizar o acionamento. Os dados e informações deverão permitir que o tipo de motor a ser escolhido atenda aos seguintes requisitos:

- *Fonte de alimentação do motor*: tensão, freqüência, número de fases, etc.
- *Características do ambiente:* temperatura, altitude, presença de vapores e gases, etc.
- *Características da máquina:* potência requerida, velocidade, tipo de máquina, regime de operação, etc

Embora o assunto mereça um estudo mais profundo, em espacial para grandes potências, podemos sugerir a seguinte seqüência, para a escolha de um motor:

a. Fonte de energia: contínua ou alternada, monofásica ou trifásica, freqüência.

b. Potência necessária: Deverá ser a mais próxima possível da exigência da carga .

c. Fator de serviço: tendo em vista a economia, pode-se escolher um motor com potência um pouco inferior à máquina operatriz, sem o mesmo risco, desde que a tensão, número de fases e a freqüência sejam nominais.

d. Velocidade do motor: Precisamos saber se o acoplamento do motor à máquina acionada é direto ou indireto (engrenagens, caixas redutoras, polias com correias ou cabos). Os dados de placa do motor referem-se a rpm em plena carga; em vazio, a rotação dos motores de indução é ligeiramente superior. A maioria dos motores, emprega-se a rotação constante. (Ex. bombas, compressores, ventiladores, tornos, etc.) Quando há necessidade de variar a rotação pode-se usar: para pequenas potências (fração de HP), reostato divisor de tensão, e para potências maiores, motores de corrente contínua ou de indução com rotor bobinado. Se o motor aciona a máquina operatriz por meio de correia, deve-se manter a correia razoavelmente frouxa, pois correias muito apertadas se estragam, além de danificar os mancais e o motor; elas aumentam a potência necessária à máquina.

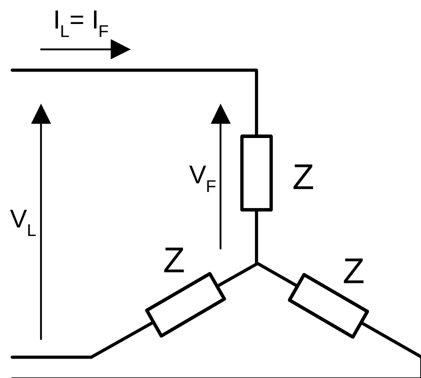
e. Torque ou conjugado: Precisamos saber se o motor parte em vazio ou em carga, para escolhermos um motor de baixo ou alto conjugado de partida. Segundo a ABNT os motores de baixo conjugado de partida são da categoria B e os de alto conjugado de partida , categoria C (vide item Categoria de conjugado). Deve-se escolher sempre um motor com um conjugado máximo pelo menos 30% maior que os picos de carga.
É evidente que, para escolha mais criteriosa do motor necessitamos conhecer o comportamento da carga; durante a fase de partida, isto é, desde o repouso até a velocidade nominal, o motor deverá desenvolver um comportamento.

f .Tipo de carcaça: conforme o ambiente em que vai ser usado, o motor deve ser especificado com as seguintes características:
à prova de explosão: destina-se a trabalhar em ambiente contendo vapores etílicos de petróleo, gases naturais, poeira metálica, explosivos, etc.
totalmente fechados: em ambientes contendo muita poeira, corrosivos e expostos ao tempo.
à prova de pingos: para ambientes normais de trabalho razoavelmente limpos, tais como residências, edifícios, indústrias, etc.

Relação entre tensão de linha e tensão de fase

Os motores elétricos podem ser ligados em delta ou estrela. As relações entre tensão e corrente podem ser descritas assim:

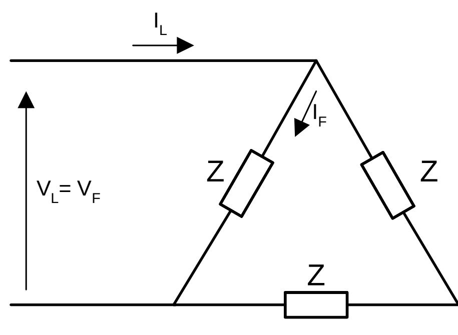
Estrela:



$$I_L = I_F$$

$$V_F = \frac{V_L}{\sqrt{3}}$$

Triangulo



$$V_L = V_F$$

$$I_F = \frac{I_L}{\sqrt{3}}$$

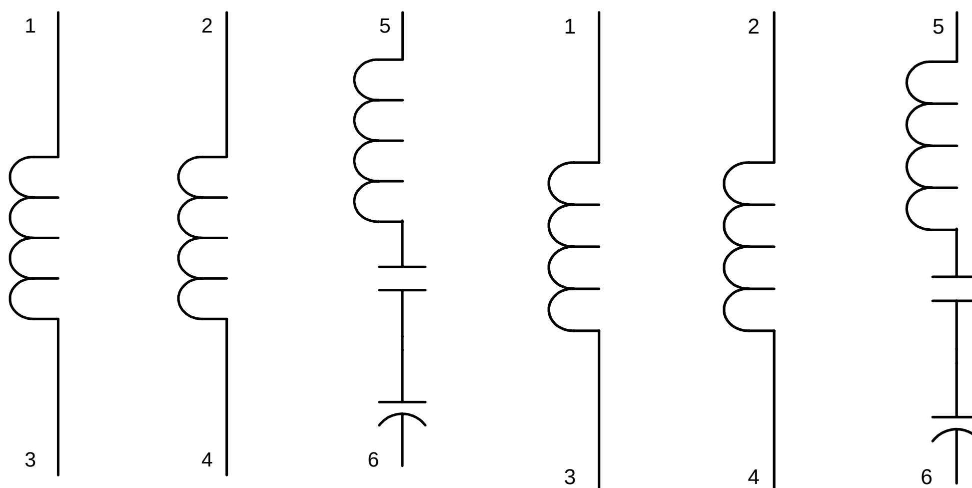
3) Enrolamentos de máquinas elétricas

Motor monofásico

É construído por estator e rotor. O estator é constituído de chapas de aço carbono. Nele estão encravados dois enrolamentos, um denominado como principal, geralmente localizado no fundo da ranhura do estator. O segundo é chamado de enrolamento de partida ou auxiliar e tem como função criar campo magnético defasado. Este campo defasado é que fará o motor girar. No momento da energização do motor, o enrolamento auxiliar fica ligado ao enrolamento principal. Quando o motor alcança cerca de 75% da velocidade nominal, um interruptor centrífugo, desliga o enrolamento auxiliar, passando o motor a operar somente com o enrolamento principal.
A inclusão do capacitor no enrolamento auxiliar é especificamente para a obtenção da defasagem magnética já citada.
Devido ao seu elevado torque de partida, são particularmente adequados para partidas pesadas. Aplicações típicas incluem compressores, bombas, equipamentos para condicionadores de ar, e ferramentas em geral.
A mudança de sentido de rotação é feita invertendo-se a ligação do enrolamento auxiliar.

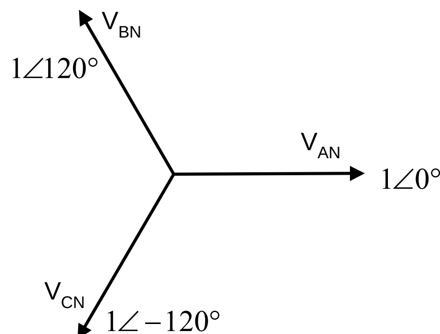
O motor de indução pode ser ligado em dois níveis de tensão caso tenham terminais disponíveis:

Em 127 V (paralelo) Em 220 V (série)



Motor trifásico de 6 terminais

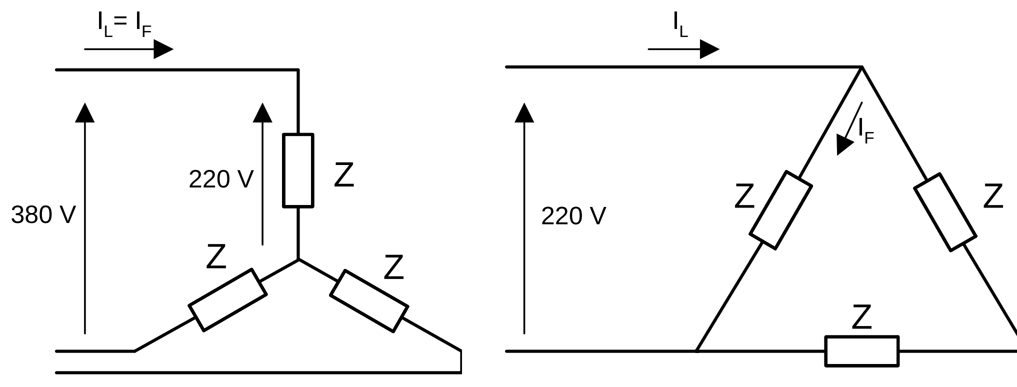
O motor de indução trifásico em gaiola (Squirrel Cage) é o motor mais utilizado em acionamentos. Geralmente são ligados em Y e o neutro fica sendo o quarto fio.
Em sistemas trifásicos, os vetores de tensão são defasados de 120° elétricos um do outro.



Conexões do Motor Trifásico

A grande maioria dos motores trifásicos são fornecidos para operação em pelo menos duas tensões diferentes, o que os torna aptos a operarem em dois sistemas com tensões diferentes. A escolha de uma ou outra ligação é feita a partir da tensão disponível no local onde o motor deverá operar, sendo que suas características não se alteram devido a reconexão. A adaptação da tensão do motor à da rede é feita por meio da reconexão dos terminais. Os principais tipos de ligação dos terminais são: ligação estrela-triângulo e ligação com 12 terminais. Estas conexões estão ilustradas nas figuras abaixo e são brevemente explicadas no que segue.

Estrela Triangulo

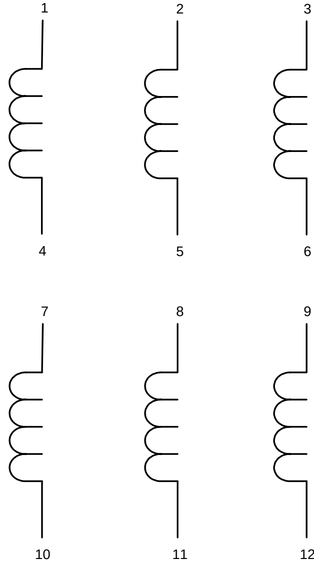


Nesta conexão ambos os terminais dos enrolamentos de fase são acessíveis na caixa de ligação, sendo assim possível à ligação da máquina tanto em estrela quanto em triângulo, conforme ilustrado na figura. A escolha de uma ou de outra ligação depende da tensão da rede onde o motor será ligado. A relação entre a tensão mais alta e a tensão mais baixa é de 3 . A figura mostra o exemplo de uma máquina construída para operar tanto na tensão de 380 Volts como 220 Volts (entre fases). Caso a tensão da rede seja 380 Volts deve-se ligar o motor em estrela; ao contrário, caso a rede seja de 220 Volts, deve-se ligá-lo em triângulo. Desta forma, fica assegurado que a tensão em cada uma das fases seja de 220 volts.
Caso o motor for conectado em triângulo e ligado numa rede de 380 volts haverá um sobreaquecimento do motor causado pela corrente excessiva, decorrente da tensão ser maior que a nominal. Nesta condição, o motor poderá vir a ser danificado. Por outro lado, ligando-se o motor em estrela e conectando-o a uma rede de 220 volts, haverá uma tensão menor que a nominal aplicada em cada fase. Nesta condição, caso o motor consiga partir e atingir a rotação nominal, a corrente será menor que a nominal e motor não conseguirá desenvolver a sua potência nominal. Também poderá ocorrer que o motor não consiga partir e atingir a velocidade nominal, ficando bloqueado e aumentando a corrente que nele circula. Resumindo,

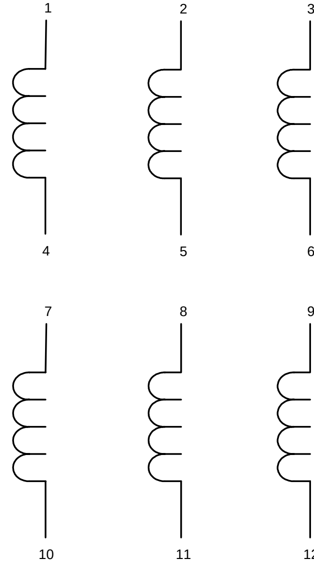
nenhuma destas condições é aconselhável para a operação do motor e deve em termos práticos ser evitada.

Motor trifásico de 12 terminais

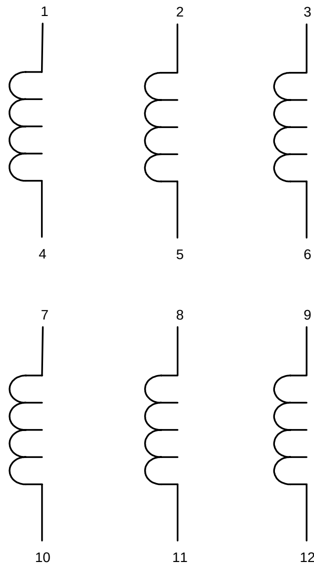
Delta paralelo



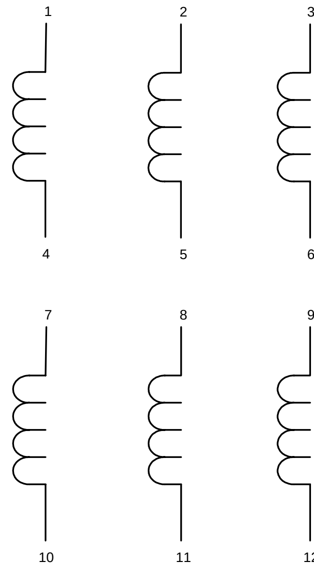
Estrela paralelo



Estrela série



Delta série



Relação de tensão e corrente em motor de 6 terminais

$$\frac{I_{LY}}{I_{L\Delta}} = \frac{V_L \big/ Z\sqrt{3}}{V_F\sqrt{3} \big/ Z} = \frac{V_L}{Z\sqrt{3}}\frac{Z}{V_F\sqrt{3}} = \frac{1}{\left(\sqrt{3}\right)^2} \tag{7}$$

$$I_{L\Delta} = 3I_{LY}$$

Relação de tensão e corrente em motor de 12 terminais

4)Sistema de Partida de Motores

Os efeitos da corrente de partida de um motor podem ser significativamente reduzidos quando se reduz a tensão aplicada ao motor durante a partida e aceleração. Há vários dispositivos disponíveis no mercado, conhecidos pelo nome genérico de *Chaves de Partida,* que são amplamente usados para reduzir a tensão aplicada ao motor durante a partida. A escolha de cada um destes tipos de chave deve ser feita com critérios que levem em conta as restrições impostas pelo sistema elétrico que alimenta o motor, o próprio motor e a carga acionada. Todavia, o melhor método para se partir um motor é ligá-lo diretamente á rede, à plena tensão, pois ele foi fabricado para isto e a introdução das chaves de partida deve ser considerada como uma solução dada a um problema.
As chaves de partida que serão estudadas são supostas serem automáticas, isto é, os seus circuitos de comando possuem relés de vários tipos (temporizados, auxiliares, de proteção, etc, eletromagnéticos ou a estado sólido), além de outros componentes que possibilitam tornar automática a operação de ligar o motor com tensão reduzida e, após o um certo tempo, fazer a comutação para a tensão plena. Por sua vez, os circuitos de potência possuem contatores eletromagnéticos ou componentes estáticos (semicondutores e tiristores) que permitem uma ligação segura do motor à rede.

É comum encontrarmos motores com corrente de partida igual a 7 ou 8 vezes a corrente nominal.
Porém, para os motores de produção seriada, normalmente encontrados no mercado, a corrente de partida situa-se entre 5,5 e 7,00 vezes a corrente nominal. ($5,5 \times I_N < I_P < 7,00 \times I_N$).
O uso de chaves de partida tem como objetivos básicos: Reduzir a corrente de partida, reduzir o custo de manutenção e aumentar a vida útil da máquina.

São três os métodos de partida mais utilizados no acionamento de motores elétricos de indução (Motores de indução de gaiola de esquilo com tensão de até 440V):

1) Partida direta; (ligando-se o motor diretamente na rede – potência máxima de 5CV)
2) Com chave estrela-triângulo e
3) Com chave compensadora.

Além destes, existem outros tipos de partida tais como: série/paralelo e por sistemas eletrônicos (soft-starter)
A norma técnica que rege estas ligações e partida de motores é a NBR 5410.

Partida direta

É o método mais simples que há (não emprega dispositivos especiais de acionamento de motores). Usa-se contatores, disjuntores ou chaves interruptoras

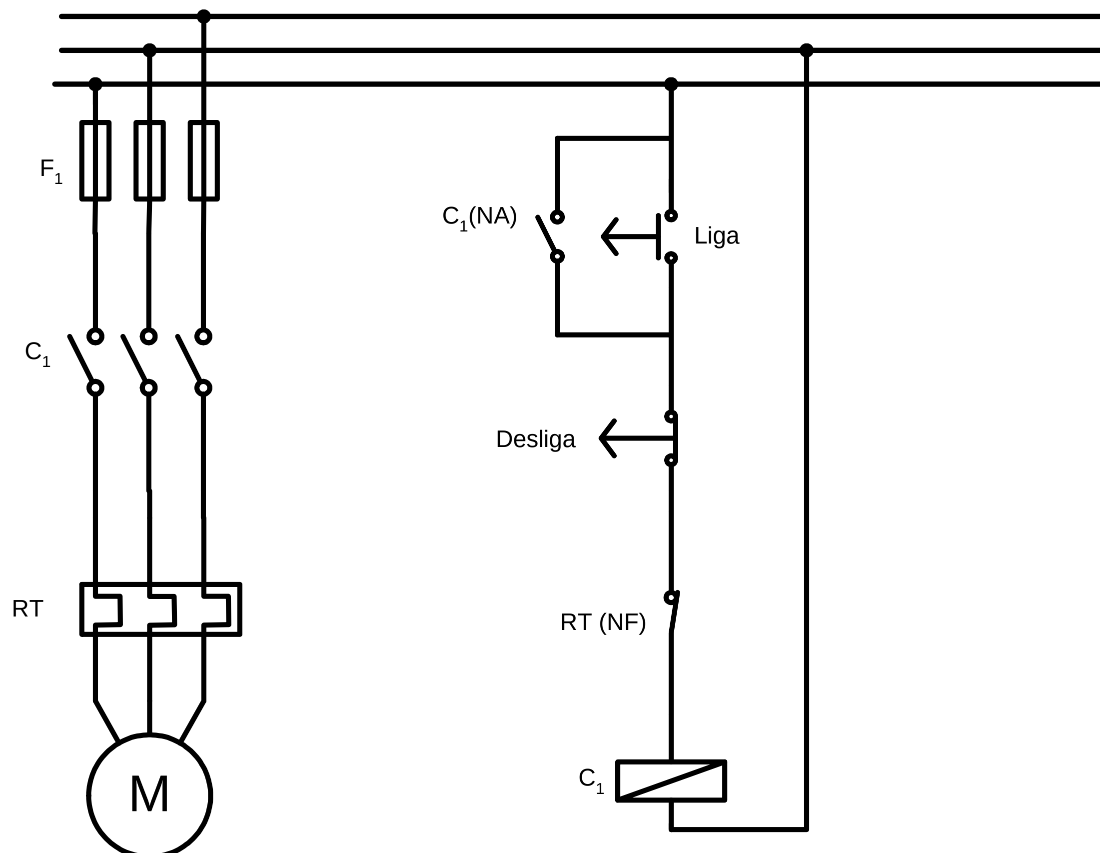
Na norma, os motores podem ser partidos diretamente quando se encaixam nas seguintes condições:

- A corrente nominal da rede é bem maior que a corrente de partida do motor.
- A potência ser menor que 5 CV
- A partida deve feita sem carga ou se a carga a ser movimentada não necessitar de acionamento lento e progressivo.
- A partida não provocar o desligamento dos circuitos dos outros motores ou dos disjuntores primários.

Forma de conexão:

Neste método, o motor é conectado diretamente á rede através de um contator eletromagnético, sendo sempre recomendável a utilização de fusível e de relé térmico como dispositivos de proteção.

Quando se pressiona o botão "liga", energiza-se a bobina do contato C1 que por sua vez, fecha-se e energiza-se o motor. Ao mesmo tempo, fica selado pelo contato auxiliar "NA" de C1 e o mantém fechado.
O contato "NF" do relé térmico fica ligado em série com a bobina do contato, caso haja sobrecarga, o relé é acionado e desenergiza C1 e interrompe o circuito.
É fácil notar que ao se pressionar o botão "desliga", tudo volta à situação inicial, com o motor desligado.



Partida estrela-triângulo

Este tipo de partida é aplicada em motores de indução, com rotor em gaiola, para potências de até 130 CV em 220V. É necessário que o motor tenha 6 terminais para que seja possível fazer a conexão.

Usa-se a partida estrela-triângulo para que? Para suavizar os efeitos da corrente de partida sobre o motor.
Inicialmente parte-se a máquina na configuração em estrela. O conjugado (ou torque) e a corrente ficam reduzidos a 1/3 de seus valores nominais. Quando o motor alcança uma velocidade próxima á nominal é mudada a ligação para triângulo.

Na partida enrolamento do estator é ligado em estrela de modo que a tensão por fase que ele recebe seja dividida por $\sqrt{3}$. Enquanto o enrolamento estiver ligado em estrela, a corrente de partida e o conjugado serão reduzidos. No instante em que atinge a velocidade em que deve ser feita a comutação para a tensão plena, os contatores operam, religando o enrolamento em triângulo.

Se o motor fosse ligado diretamente à rede, a corrente de partida que circularia por ela seria igual a:

$$I_p = \sqrt{3}\frac{V}{Z_p} \tag{8}$$

Quando a chave é ligada, a corrente de partida na rede passa a ser:

$$I'_p = \frac{V'}{Z_p} = \frac{V}{\sqrt{3}Z_p} \tag{9}$$

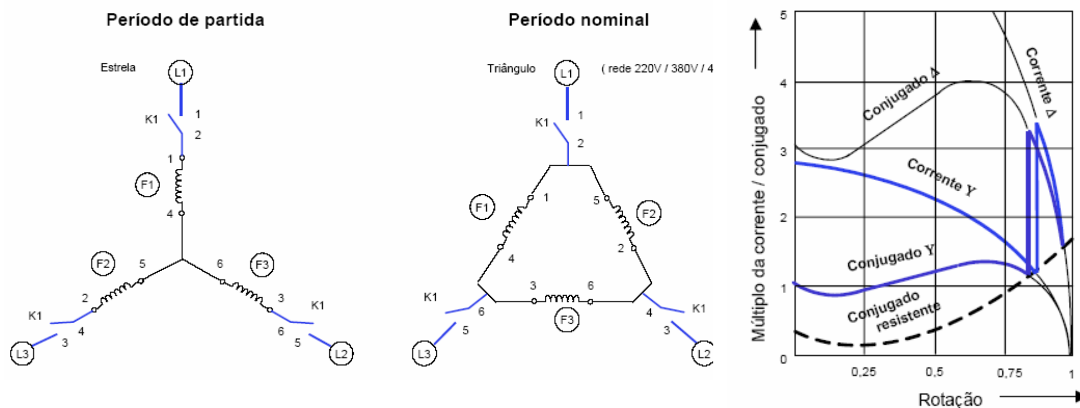
Dividindo membro a membro as igualdades acima teremos:

$$I'_p = \frac{I_p}{3} \tag{10}$$

Portanto, quando se usa a chave estrela-triângulo na partida do motor, a corrente de partida da rede é 1/3 da corrente de partida a plena tensão. De seu lado, o conjugado de partida fica também reduzido de 3 vezes pois ele é proporcional ao quadrado da tensão aplicada.

As chaves "estrela-triângulo" são aplicáveis a motores que têm a tensão nominal em Δ coincidente com a tensão de alimentação da rede, ou seja, um motor 220Δ/380Y não pode ser ligado em uma rede de 380V entre fases. O correto seria 380Δ/660Y.

Como o conjugado de partida fica reduzido na fase de ligação em Y, só se deve usar a chave Y-Δ quando o motor tiver conjugado elevado para partida à plena carga para operar cargas leves (ventilador) ou cargas médias (maquinas ferramentas).
Isto se traduz em termos para o motor em estrela um conjugado de partida superior ao conjugado de carga no eixo. Portanto é recomendável ser aplicada no acionamento de máquinas que partem em vazio ou com conjugado resistente baixo.
Aplicável também a motores que devem ser acionados a grandes distâncias, otimizando em especial os condutores.



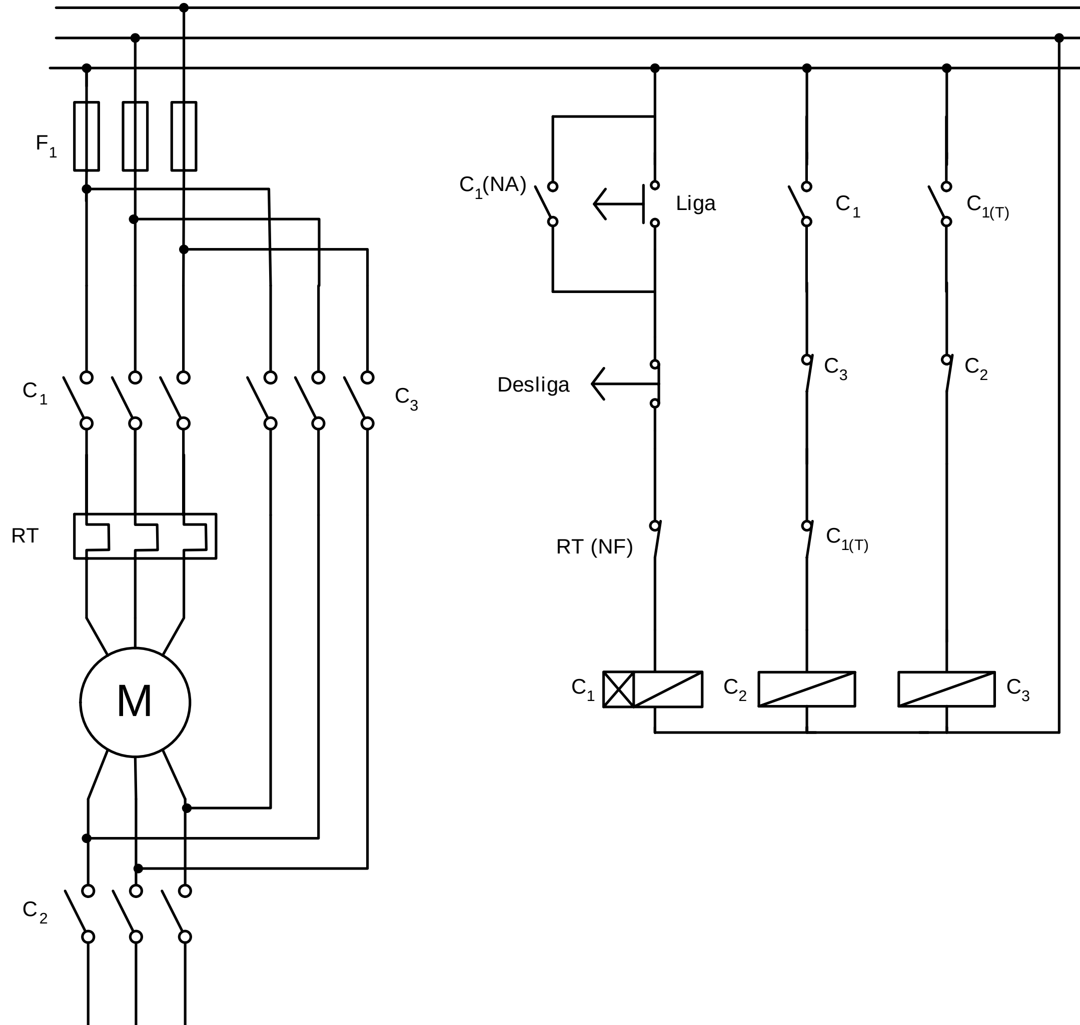
Algumas vantagens da estrela-triângulo

Custo reduzido, elevado número de manobras, corrente de partida reduzida a 1/3 da nominal e dimensões relativamente reduzidas.

Desvantagens:

Aplicação especifica para motores de dupla alimentação e que disponha de 6 bornes acessíveis.
conjugado de partida reduzido a 1/3 do nominal.
Tensão da rede deve coincidir com a tensão em triângulo.

O motor deve alcançar, pelo menos, 90% de sua velocidade nominal de regime antes de haver a comutação da chave.



Modo de funcionamento:

Ligação
Ao pressionar o botão "liga", a bobina do contator C1 é energizada. O contator C1 fecha seu contato NA e abre seu contato NF e aciona o contator C2 que fecha o centro da estrela (temos ligação em estrela)

Comutação

Transcorrido o tempo ajustado, O contator C1, que tem agregado um temporizador que possui alguns contatos temporizados, opera desligando o contator C2 e ligando o contator C3, reconectando os terminais em Δ e portanto aplicando tensão nominal ao motor, porém com menor sobrecorrente. Observar o intertravamento entre C3 e C2 que impede o fechamento simultâneo dos contatores.

Desligamento

Qualquer um dos dispositivos de proteção ou botão "desliga" quando pressionado abre o circuito de controle desligando o contator C1. Podem ser acrescentados outros contatos abridores atuados por dispositivos de proteção tais como relés de temperatura, chaves fim de curso, relés antivibração, etc, em série com o botão "desliga".

Partida com chave compensadora

A chave compensadora é composta, basicamente, por um autotransformador com várias derivações destinadas a regular o processo de partida. Este autotrafo é ligado ao circuito do estator.
Normalmente, este tipo de partida é empregado em motores de potência elevada, acionando cargas de alto índice de atrito como britadoras e máquinas acionadas por correias.

As derivações encontradas normalmente em autotrafos de chaves compensadoras são de 50%, 65% e 80%.
O autotrafo fica localizado entre a rede e o motor, ele faz com que a tensão no motor cresça lentamente em degraus de tensão (50%, 65% e 80%)
Portanto, sendo V a tensão entre fases da rede de alimentação e K a relação de transformação escolhida, a tensão aplicada ao motor, na partida será:

$$V' = kV$$

A corrente de partida no primário do autotransformador será igual a:

$$I_{partida} = \frac{V'}{\sqrt{3}Z}$$

$$I'_{partida} = I_{pri} k = \frac{V'}{\sqrt{3}Z} k = \frac{V}{\sqrt{3}Z} k^2 = I_{partida} k^2$$

Vê-se, portanto, que a corrente de partida na rede é reduzida de K^2 vezes. Os conjugados de partida e máximo serão reduzidos na mesma proporção, isto é, K^2 vezes. A figura abaixo mostra os circuitos de potência e de comando de uma chave autotransformadora que utiliza contatores eletromagnéticos para realizar as suas operações.

Vantagens:

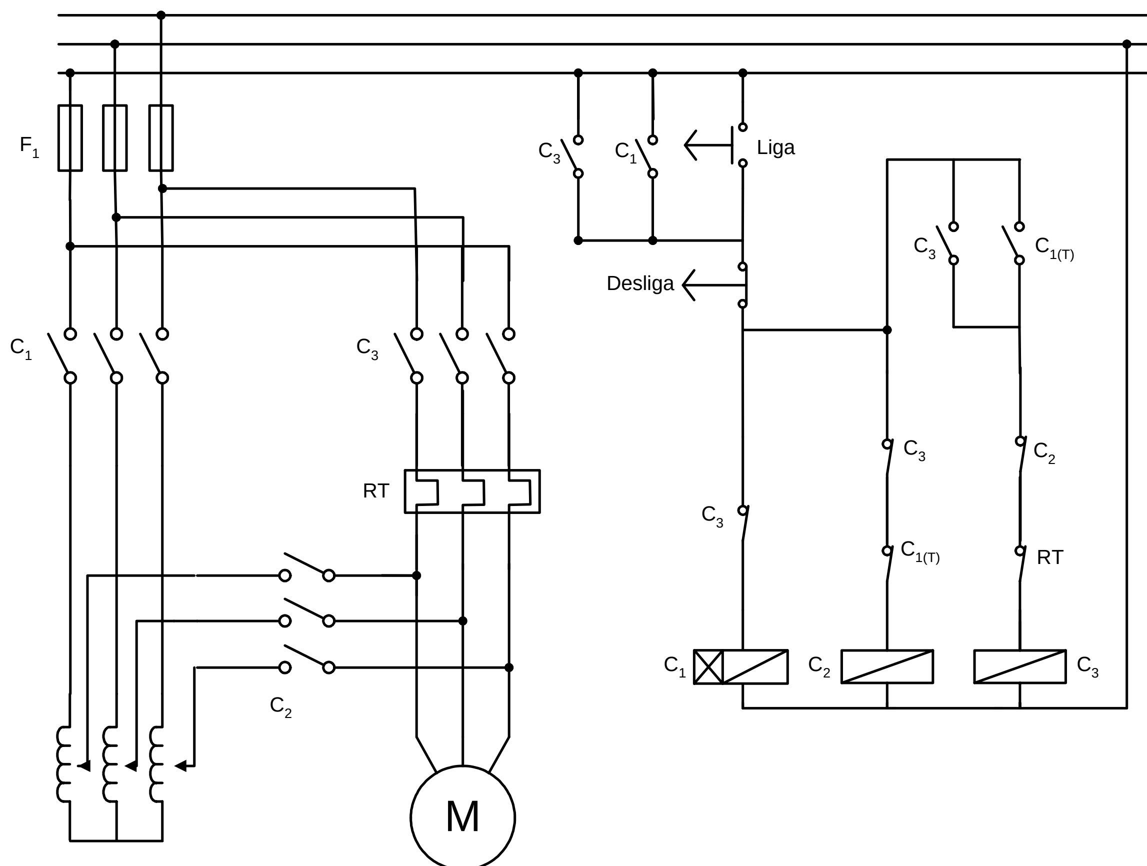
Na derivação 65%, a corrente de partida de linha se aproxima do valor da corrente de acionamento, utilizando-se chave estrela-triangulo.
A comutação da tensão reduzida para a tensão de alimentação não acarreta elevação de corrente, já que o autotrafo comporta-se, neste instante, como uma reatância que impede o crescimento desta
Pode-se variar o tape gradativamente.

Desvantagem:

Custo maior que a chave Y-Δ e dimensão maior do conjunto por haver o auto transformador.

Funcionamento:

Ao se ligar o botão “liga”, os contatores C1 e C2 são ligados alimentando-se o motor com tensão reduzida de acordo com o tap escolhido. Ao final de um determinado tempo, o contator C1(T) abre o contator C2 e fecha C3, aplicando a tensão nominal ao motor, a entrada de C3 também provoca a abertura de C1, desligando o autotrafo e concluindo o processo de partida.



Partida de motor de indução com rotor em anéis

Os motores de indução com rotor em anéis (bobinados) podem partir suavemente com a utilização de reostato de partida ligado ao rotor.

Inversão de sentido de rotação

Funcionamento
Quando botoeira b1 é acionada, C1 entra em operação fazendo o motor girar em uma direção. Ao apertar o botão b2. Desliga-se o contato C1 e liga-se C2 fazendo o motor girar no sentido contrário.

Exemplo prático

Partida automática de um conjunto motor bomba

Neste exemplo iremos analisar o funcionamento de uma chave bóia flutuante de contato de mercúrio.
O funcionamento deste tipo de chave bóia é simples. Basta que a ampola se incline favorecendo o deslocamento do mercúrio em direção dos contatos, fechando-os ou na direção oposta, abrindo-os.
A ampola com mercúrio se encontra lacrada dentro de um invólucro plástico com o formato de uma pêra que fica flutuando na água e que possui fios de contato com o circuito externo.
O posicionamento desta ampola é que nos dará o nível de água dentro dos reservatórios.
A chave bóia como o nome diz simplesmente será abrir ou não o circuito de comando do contator.

Cores de sinalizadores para a indicação das condições de operação

Norma VDE

Cores	Condições de operação	Exemplos de aplicação
Vermelho	Condições anormais	Indicação que a máquina está paralisada pela atuação de um dispositivo de proteção, perante uma falta ou sobrecarga
Amarelo	Atenção ou cuidado	O valor de uma grandeza aproxima-se de seu valor limite (corrente, temperatura, etc..) Sinal para ciclo automático
Verde	Máquina pronta para operar	Partida normal: todos os dispositivos auxiliares funcionam e estão prontos para operar. O ciclo de operação está concluído, e a máquina está pronta para operar novamente.
Branco (incolor)	Circuitos sob tensão de operação (funcionamento normal)	Chave principal na posição LIGA. Escolha de velocidade ou sentido de rotação Máquina em movimento

Dimensionamento de contator, relés e fusíveis

O relé térmico tem como função proteger o motor contra sobrecargas prolongadas. Sua atuação se dá pela passagem de corrente por hastes bimetálicas, que ao se aquecerem, abrem um contato após um determinado tempo. A relação de corrente versus tempo de atuação do relé é chamada de característica de tempo inverso e é dado por um gráfico como mostrado na figura abaixo.

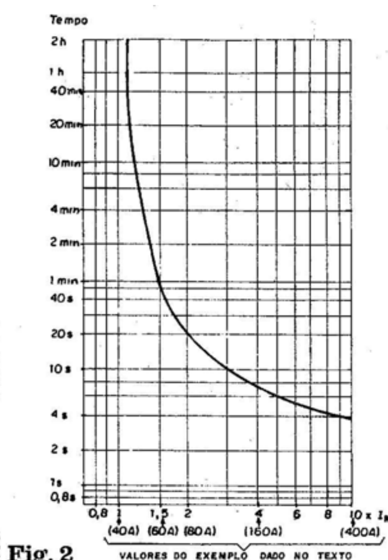


Fig. 2

A figura mostra o tempo de abertura em função dos múltiplos da corrente I_R. (0.8* I_R, 1* I_R, 1.5*I_R, e assim por diante)
Exemplo: Acompanhe no gráfico o caso de um relé ajustado para 40A (1* I_R=40). Quando a corrente é menor ou igual a este valor, o relé fica indefinidamente fechado, ou seja, o tempo de abertura é infinito; Se o motor fica um pouco sobrecarregado (60A) e conseqüentemente igual a 1,5* I_R, nota-se que o relé térmico irá abrir seus contatos após um intervalo de aproximadamente um minuto. Se for de 80A , será de 2 segundos.

Em relação ao contator, seu dimensionamento depende da corrente de partida do motor, da freqüência de operação, da possibilidade de reversão, entre outros fatores. Portanto, é necessária a consulta dos manuais de contatores de cada fabricante.
De maneira geral, para cargas constantes, a regulagem do relé é feita na ordem de 1.1* I_R. Analisemos o caso do motor com I_N=40A. Os contatores encontrados no mercado são:

Corrente(A)	9	16	25	40	80	145	265
Faixa de Operação	7-10	13-18	23-32	38-50	75-105	125-200	250-400

O relé indicado é o modelo de faixa de regulagem de 38 a 50 A. Seu ajuste deve ser feito para a atuação de 1.1* I_R=44A.
Vale lembrar que mesmo sendo o contator e o relé nominais, eles tem capacidade para suportar a corrente de partida do motor, que é da ordem de 6 a 10 vezes a nominal, visto que ela perdura por somente alguns segundos.

A função do fusível é de proteger uma instalação contra curto-circuito na fiação de alimentação ou no próprio motor em caso de algum defeito.
Segundo a NBR 5410, a corrente nominal do fusível não deve ser superior ao valor obtido multiplicando-se a corrente nominal pelo fator indicado na tabela abaixo:

Corrente de Partida	Fator
Até 40 A	0,5
De 40 a 500 A	0,4
Acima de 500 A	0,3

No caso que estarmos trabalhando temos um motor normalizado de partida típica com corrente na ordem de 6 vezes a nominal. Resultando em 40*6=240A
Portanto, o fusível usado de acordo com a norma deverá ser de 0,4*240=96A
Devemos escolher um fusível de valor comercial próximo a 96A

Para a partida delta-estrela, o critério de dimensionamento do relé e do contator é o mesmo, porém devemos lembrar que alguns contatores (C1 e C3), a corrente é 1,73 vezes menor que a nominal do motor.E o contator C2 tem corrente dividida por três.
Assim, se a corrente nominal é 40A devemos escolher contatores de corrente (C1 e C3) 40/1,73 =23A. Conseqüentemente escolhemos o contator de 25 A.
O contator C2 tem corrente de 40/3=13,3A e conseqüentemente contator padronizado de 16A.
Pergunta: O custo de 3 contatores de potência inferior ao único da partida direta compensa?
O fusível mantêm-se o cálculo da partida direta. Porque?

Dimensionamento para o autotrafo.
O contator C3 é igual para partida direta.
O C2 é escolhida segundo o fator de redução da tensão do autotrafo
C1 será escolhido segundo o quadrado da redução.
Dois exemplos podem melhor esclarecer:
a) Com tape de 80%: a corrente será reduzida para 0,8 x 0,8 = 0,64 ou 64%.
b) Com tape de 65%: a corrente será reduzida para 0,65 x 0,65 = 0,4225 ou 42,25%.

Exemplo:Motor de 440V com corrente nominal de 500A.Usando-se o trafo em 50% da tensão. C2 sofrerá a corrente de 0,5x500A.=250A. O contator padrão será em de 265A
C1 sofrerá a corrente de 0,5x0,5x500=125A
O contator será de 145A (padrão). O trafo é escolhido segundo a potência do motor, tensão da rede, e número de partidas

Dimensionamento de circuito alimentado de máquinas elétricas

A) Pela capacidade de corrente

Neste caso, temos dois fatores a serem considerados: Fator de serviço (FS) e fator de demanda (FD)

A corrente que deverá ser utilizada será de:

1) Quando os motores partem separadamente:
$I \geq 1,25I_n$ (maior motor) + Σ I_n (motores restantes)

2) Quando se tem o fator de demanda:
$I \geq 1,25I_n$ (maior motor) + FD*Σ I_n (motores restantes)

3) Quando se tem motores partindo simultaneamente:
$I \geq 1,25I_n$ (motores que partem juntos) + Σ I_n (motores restantes)

Exemplo: Um alimentador deve abastecer os seguintes motores:

-elevador- 10CV – 4 pólos
elevador serviço – 7,5CV – 4 pólos
bomba d´agua - – 5CV – 2 pólos
Bomba de recalque - – 1CV – 2 pólos
Exaustor – 1CV – 2 pólos

Todos os motores são de indução, gaiola de esquilo, 220V – 60Hz
Qual a capacidade de corrente do alimentador?
Usando a tabela 6.8 – pág 270 (Livro Helio Creder)

10cv – 26,6 ampères
7,5cv -20,6 A
5cv – 13,7 A
1cv – 3,34 A

$I_{alimentador}$=1,25*26,6+20,6+13,7+3,34+3,34 =

Da Tabela 4,6 temos cabo de 25 mm^2.

Se as bombas partem juntas temos:

$I_{alimentador}$=1,25*(13,7+3,34)+26,6+20,6+3,34 =

b) Dimensionamento pela queda de tensão

A queda de tensão admissível pela NBR5410 para circuitos de força é de 5%, sendo 4% de perdas nos alimentadores e 1% nos ramais.

Circuito monofásico ou de corrente contínua

$$S = \frac{2\rho\Sigma(I.L)}{u}$$

Circuito Trifásico

$$S = \frac{\sqrt{3}\rho\Sigma(I.L)}{u}$$

sendo:
S= seção em mm^2
ρ= resistividade: Cobre $\frac{1}{56}\left(\frac{\Omega.mm^2}{m}\right)$ e Alumínio : $\frac{1}{32}\left(\frac{\Omega.mm^2}{m}\right)$
I= corrente
u= Queda de tensão absoluta
L= comprimento em metros

Exemplo: Repetindo o exercício anterior, com o dimensionamento pela queda de tensão

- Elevador: L=30 m
- Bomba d´agua: L=10m
-Exaustor e bomba de recalque: L=5m

Temos então:

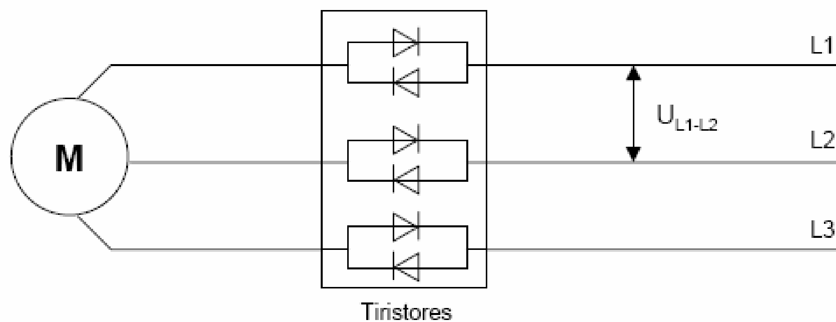
$$S = \frac{\sqrt{3}(26,6*30 + 20,6*30 + 13,7*10 + 2*3,34*5)}{56*220*0.04} =$$

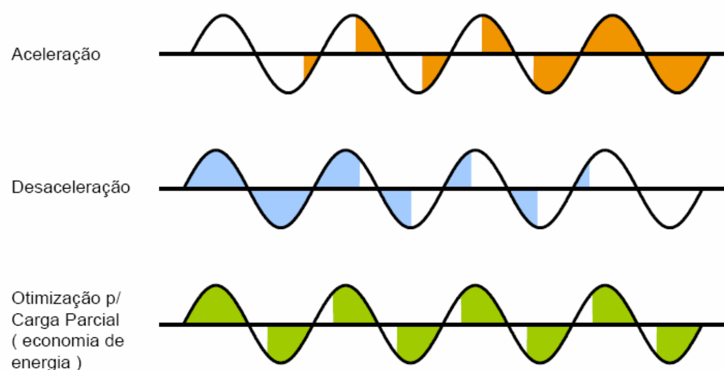
Além dos sistemas tradicionais de chaves estrela-triângulo e compensadora por autotransformador, começam a surgir no mercado os sistemas de chaves de estado sólido. Faz as mesmas funções de fornecer corrente reduzida durante o período de partida do motor elétrico, porém a corrente é controlada por meio de SCR's (retificadores controlados de silício). Será isto que veremos no próximo item.

CHAVES ESTÁTICAS (SOFT STARTERS)

Os semicondutores de potência existem há mais de 30 anos mas, até relativamente pouco tempo, eram muito caros para serem usados em chaves de partida de motores elétricos substituindo as chaves convencionais. Porém, com a redução dos custos de produção dos semicondutores, têm surgido no mercado as chamadas chaves estáticas (soft starters) com preços mais competitivos, ampliando o seu uso nos dias atuais. Além de possibilitar a redução da tensão aplicada ao motor na partida a valores muito baixos, elas têm incorporado outras operações de controle e proteção do motor, tornando-se extremamente versáteis. O principal componente da chave estática é o tiristor ou retificador controlado de silício (SCR - silicon controlled rectifier) que opera em dois estados estáveis: aberto ou fechado, tal como um interruptor comum. O controle da tensão aplicada, mediante o ajuste do ângulo de disparo dos tiristores, permite obter partidas e paradas suaves do motor, donde o seu nome em inglês.

Com o ajuste adequado das variáveis, o conjugado produzido é ajustado à necessidade da carga, garantindo a mínima corrente necessária para a partida. Como os tiristores operam como interruptores que permitem fluxo de corrente em um único sentido, nos circuitos de corrente alternada eles são ligados dois a dois, formando a chamada ligação antiparalela.





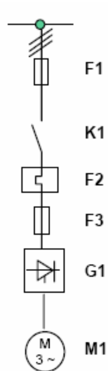
Desta forma, a corrente alternada circula normalmente e, ao mesmo tempo se obtém o controle da tensão aplicada ao motor. As chaves estáticas permitem um ajuste contínuo da tensão entre 0 e 100% da tensão de linha e não têm, como as chaves eletromagnéticas convencionais, o problema do surto de corrente e conjugado quando se passa para a tensão plena. A WEG e a SIEMENS produzem chaves estáticas avançadas, com várias funções.
A utilização de controladores microprocessados para as chaves estáticas é uma tendência geral entre os fabricantes. O uso dos microprocessadores permite ampliar o número de funções de controle da chave, não se limitando a ligar e desligar o motor. Resumidamente, algumas destas funções são as seguintes:

- Função partida suave: o tempo de aceleração do motor pode ser controlado.
- Função limitação de corrente: limita a corrente a valores pré-determinados
- Função partida de bombas hidráulicas: reduz o chamado golpe de aríete que ocorre quando há desligamento do motor.
- Função parada suave: permite que o tempo de desaceleração do motor possa ser controlado, reduzindo-se gradualmente a tensão do motor ao invés de desligá-lo da rede.
- Função freio: o disparo dos tiristores pode ser feito de forma assimétrica, aplicando ao motor uma tensão desequilibrada que provoca o aparecimento de uma componente de tensão de seqüência negativa que, por sua vez, cria um conjugado de sentido oposto ao da rotação, freando o motor.

O uso das chaves estáticas sempre acarreta algum tipo de impacto sobre os motores de indução devido aos harmônicos que ela introduz no enrolamento do motor ao realizar as suas funções.

Assim segue seguintes as suas características básicas:

- Aplicada no acionamento de máquinas que partem em vazio e com carga ;
- Permite parametrização de tensão oferecendo uma aceleração progressiva e uniforme da máquina, o que possibilita a redução da potência necessária ;
- A qualidade de supervisão precisa ser de nível mais sofisticado;
- Pela ausência de choques mecânicos (trancos), na aceleração da máquina, aumentam consideravelmente os intervalos de manutenção, o que contribui para uma maior VIDA ÚTIL do equipamento, e
- Pelas características básicas, tem substituído a partida por auto-transformador (compensadora) com vantagens.



F1 - Fusíveis retardados NH para proteção do sistema
K1 - Contator de alimentação e retaguarda de manobra
F2 - Relé de sobrecarga para proteção do motor
F3 - Fusíveis ultra-rápidos SITOR para proteção de retaguarda da eletrônica de potência
G1- Dispositivo de manobra estática de partida e parada suave SIKOSTART
M1- Motor trifásico com rotor em curto-circuito

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de qualquer uma das chaves descritas anteriormente provoca a redução do conjugado do motor durante o processo de aceleração que pode ser considerado concluído quando o motor atinge a velocidade correspondente ao escorregamento crítico sm. Se a redução for significativa, como ocorre no caso da chave estrela triângulo ou da chave autotransformadora na derivação de 50%, há o risco da curva do conjugado motor cortar a curva do conjugado resistente em um ponto bem antes do conjugado máximo e, com isto, abortar o processo de aceleração. Além disso, o conjugado de aceleração diminui o que pode provocar um maior aquecimento do motor durante o período de aceleração.
A escolha de um dos tipos de chave depende do tipo de carga que será acionada pelo motor e, obviamente, de fatores econômicos. As chaves estrela triângulo são as mais baratas e devem ser usadas, preferencialmente, quando o motor aciona cargas de característica mecânica parabólica. As chaves com impedâncias primárias são muito usadas em motores de pequena e média potência, tipicamente, em motores abaixo de 20 kW. Se o objetivo principal é reduzir o surto de corrente na rede, a chave autotransformadora deve ser a indicada.
De todas as chaves, a chave estática é a que oferece a aceleração a mais suave e pode incorporar, como já dito, várias funções de proteção e controle do motor. Seu inconveniente, comparada com as demais, é o custo.
As chaves de partida só devem ser usadas quando a partida direta do motor não for possível devido ao surto de corrente que ela provoca ou quando se deseja reduzir o conjugado de aceleração para permitir uma partida suave.

Eletrônica de Potência

Eletrônica de Potência é o ramo da engenharia elétrica que constitui com a conversão e controle da potência elétrica para várias aplicações como aquecimento, controle de iluminação, processos eletroquímicos, fontes reguladas de tensão CC e CA, Acionamentos de máquinas elétricas CC e CA, filtragem de potencia ativa e reativa, compensadores estáticos de potencia, etc..

Componentes de eletrônica de potência

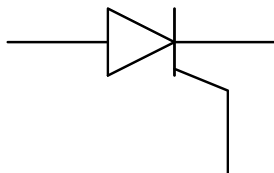
Semicondutores são os mais importantes elementos em equipamentos de eletrônica de potência. Eles são essencialmente chaves liga-desliga, porem sendo um pouco mais complexos e delicados. Historicamente, a evolução da eletrônica de potência é seguida pela evolução dos componentes semicondutores, que por sua vez são seguidos pela evolução da eletrônica de estado sólido. A busca atual para o desenvolvimento destes elementos está baseada na melhoria da eficiência, confiabilidade e custo destes elementos semicondutores.

Os principais elementos são:

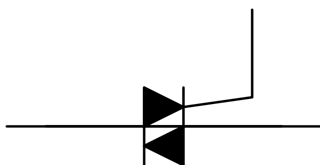
a) Tiristor ou retificador controlado de silício (SCR): É o elemento mais utilizado atualmente em eletrônica de potência. A figura abaixo apresenta o seu símbolo e indica sua característica Volt-Ampere.

Basicamente é um elemento que pode ser ligado (turn on) através de um pulso de corrente em seu gate. Porém, a partir do memento que está ligado, não é possível controlar seu desligamento com um pulso negativo de corrente. Ele somente se desligará quando for polarizado negativamente pela rede elétrica ou por um circuito auxiliar.

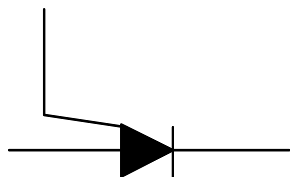
Como outros elementos semicondutores, o tiristor necessita de um snubber que protege o circuito de transitórios de tensão e as perdas por chaveamento no elemento.



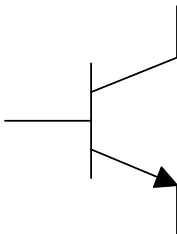
b) Triac: O triac é um elemento que funcionalmente opera como se tivéssemos dois tiristores ligados em anti-paralelo. A figura abaixo apresenta a símbolo do Triac



c) GTO (Gate Turn-off Tyristor): É um tipo de tiristor que entra em condução com um pulso de corrente e sai de condução com um pequeno pulso de corrente também.



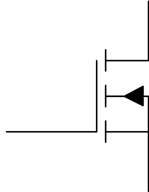
d) Transistor de Potência (Bipolar Junction Transistor – BJT) : O transistor de potência é um semicondutor que a corrente no seu coletor é controlada pela corrente de sua base.



e) Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT): o IGBT é basicamente um transistor bipolar que pode ser ligado e desligado através de um gate MOS (**m**etal **o**xide **s**emiconductor). Combinando características do MOSFET, do BJT e do tiristor. A Figura abaixo apresenta o símbolo do IGBT.

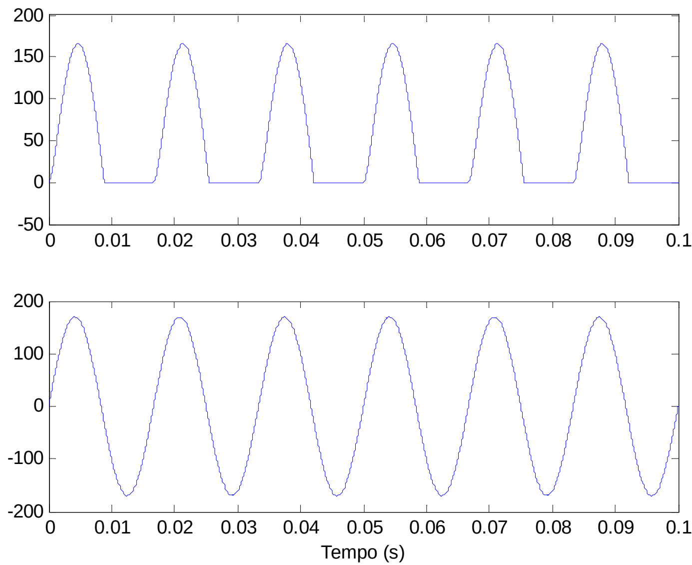


MOSFET

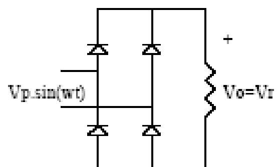


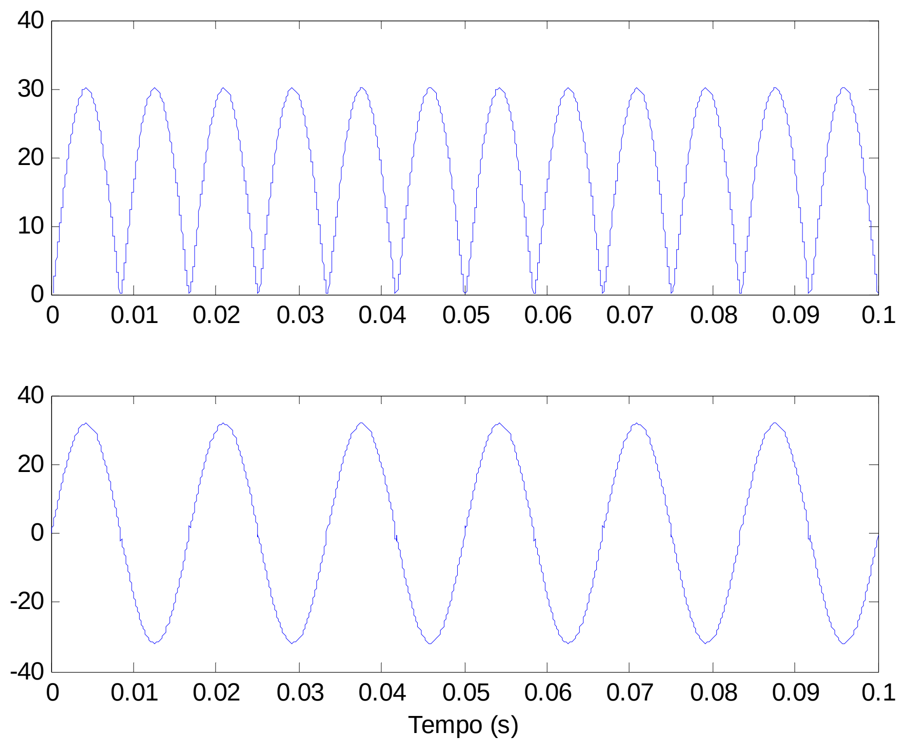
Conversores de Eletrônica de Potência.

retificador de meia onda

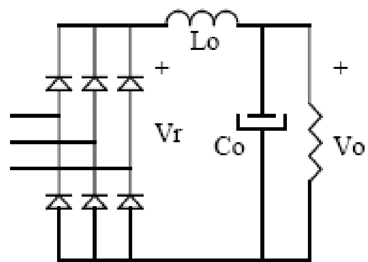


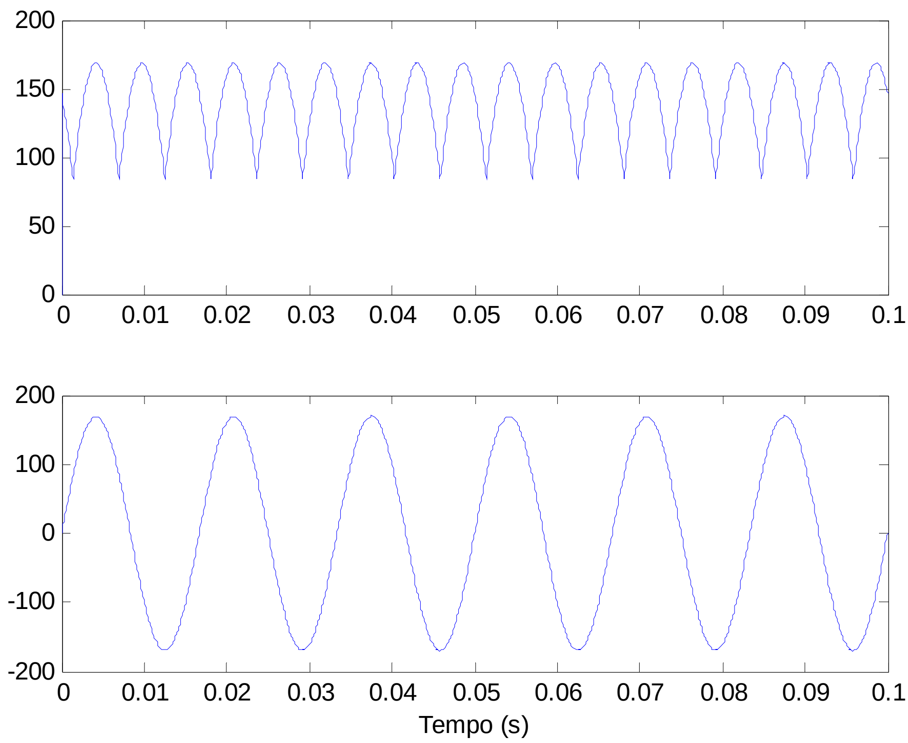
onda completa:



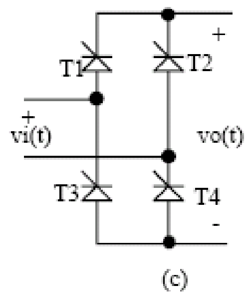


retificador trifásico





retificador monofásico controlável.



(c)

Controle de Máquinas Elétricas

O controle de máquinas elétricas baseia-se na utilização de equipamentos de eletrônica de potência para operar as máquinas elétricas (o nome dado ao conjunto motor + equipamento eletrônico é de acionamento eletrônico de máquinas elétricas)
Os acionamentos eletrônicos são amplamente utilizados em aplicações industriais modernas.
Como exemplo de aplicações de alta potência temos: mineradoras (britadeiras e esteiras) e na industria de cimento.
Aplicações de média potência: Industria têxtil e de papeis. No transporte público através do metrô e trens urbanos. Em baixa potência citamos: máquinas ferramentas e periféricos de computador (CDROM, impressoras, HD, etc)
Todas estas aplicações são aplicações que necessitam de alta eficiência. Isto é obtido com o uso de conversores eletrônicos que operam em modo de chaveamento com semicondutores (diodo, tiristor, IGBT, MCT)
Para máquinas de corrente contínua temos possibilidade de trabalhar o controle através da variação de tensão na máquina e para máquinas de corrente alternada através da variação da tensão e/ou freqüência.

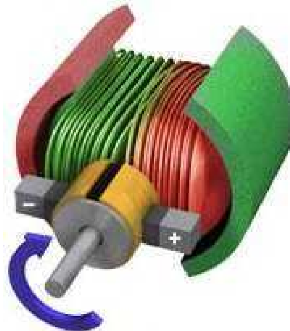
Mas porque velocidade variável?

- Economia de energia: a partida de máquinas de forma direta dissipa muita energia ao inicializar. A utilização de um inversor ou uma soft-starter vem melhorar esta condição.
- Controle de velocidade: É evidente que a possibilidade de se controlar a velocidade da máquina nos permite ter flexibilidade de operação.
- Melhoria de transitórios eletromagnéticos: Os transitórios da máquina ficam menos críticos (partida da máquina)

Máquinas Elétricas

a) <u>Máquinas de corrente contínua</u>

Constituída de um circuito magnético fixo com enrolamentos de excitação (estator) e uma parte móvel chamada de rotor ou armadura com condutores ligados aos coletores. Coletores estes que ficam em contato mecânico com as escovas localizadas no estator.

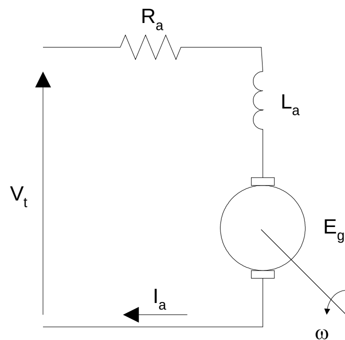


A figura abaixo mostra o diagrama de um motor CC. Podemos resumir seu funcionamento através de duas equaçcões fundamentais, uma relativa ‘a foirça contra-eletromotriz ea outra do torque.

$Eg=K\Phi\omega$
e
$T=K\Phi I$

Onde:
Eg=força contra-eletromotriz da armadura
K= constante construtiva da máquina
Φ=fluxo magnético do entreferro
ω=velocidade angular

I=corrente de armadura
T=Torque



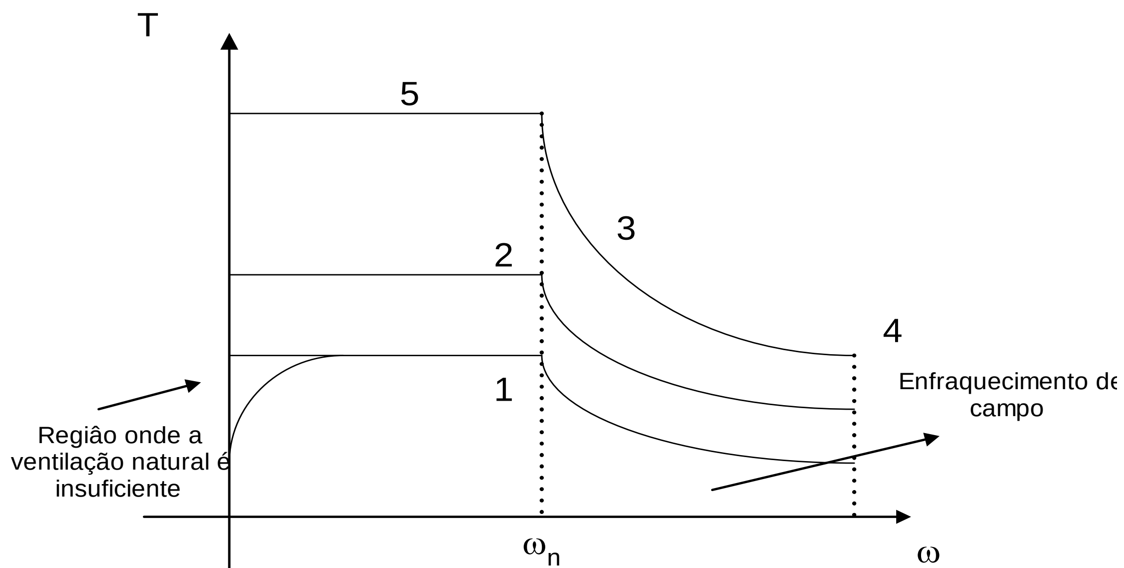
Disto temos: que a velocidade é inversamente proporcional ao fluxo magnético e diretamente proporcional a tensão de armadura

$\omega = Eg / K\ \Phi$

Isto significa que para mexer na velocidade basta atuar nas duas variáveis: Tensão de armadura e fluxo magnético (através da corrente da bobina por excitação do campo)

Quanto maior Eg, maior será ω e quanto maior a corrente de magnetização, menor a velocidade
A figura com as regiões de operação do motor ilustra esta operação.

Regiões de funcionamento



1. Serviço Permanente
2. Serviço Intermitente (1 min em 10 minutos)
3. Limite de comutação
4. Limite de velocidade
5. Limite de desmagnetização (motores de Imã permanente)

Acima da Velocidade nominal (ω_n) , o motor funciona somente com enfraquecimento de campo (redução de fluxo) e conseqüentemente redução do torque máximo.

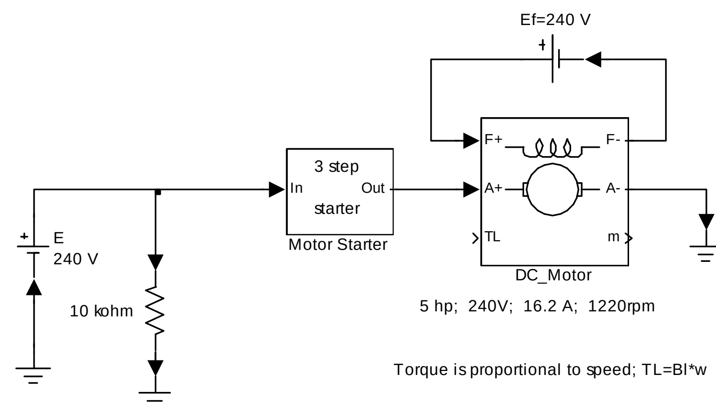
O enfraquecimento só é possível em máquinas de excitação independente.

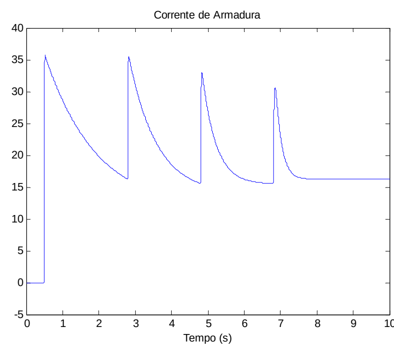
Existem 4 formas de controle de máquinas CC

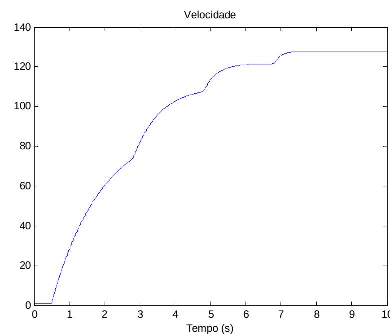
Inclusão de resistência na armadura
Inclusão de resistência no campo
Sistema Ward Leonard (sec. XIX)
Conversores estáticos de potência

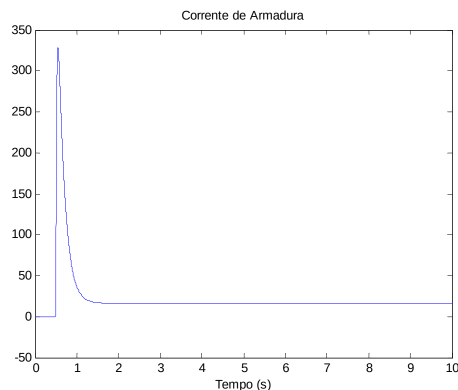
Inclusão de resistência na armadura (rotor): Aumento de R_a

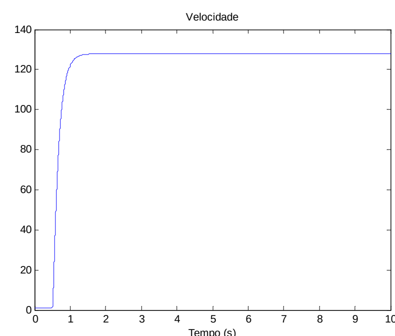
É a pior técnica de controle de velocidade por haver perda energética neste resistor. Só é usado para o arranque da máquina. Tem aplicação para motores compostos e shunt.





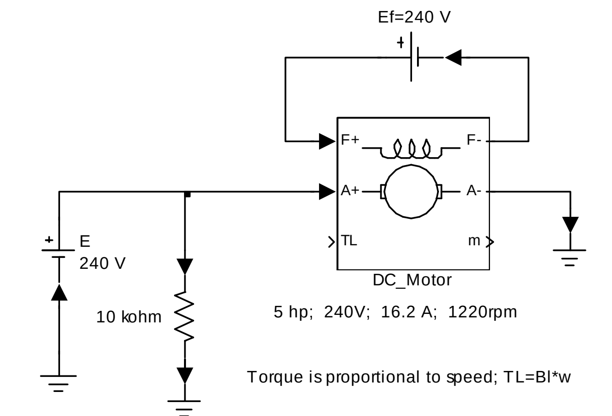


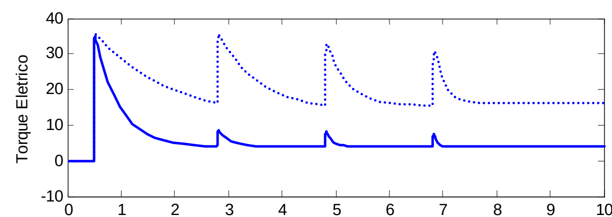


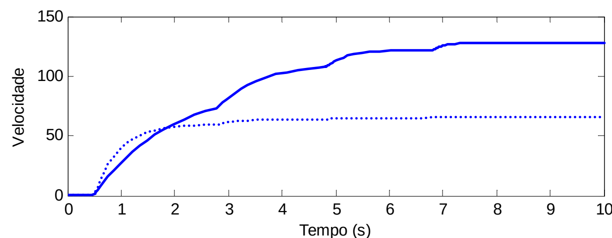


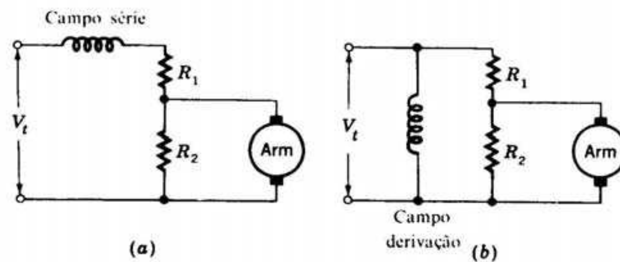
Inclusão de resistência no campo: Aumento de R_e

Somente é utilizado quando se quer trabalhar acima da velocidade nominal. E ocorre às custas da perda de torque (enfraquecimento de campo). Ao variarmos a resistência de campo, variamos o fluxo de campo da máquina.





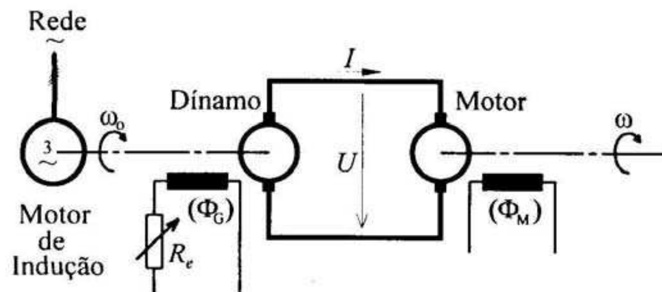




Motor CC série e shunt (derivação)

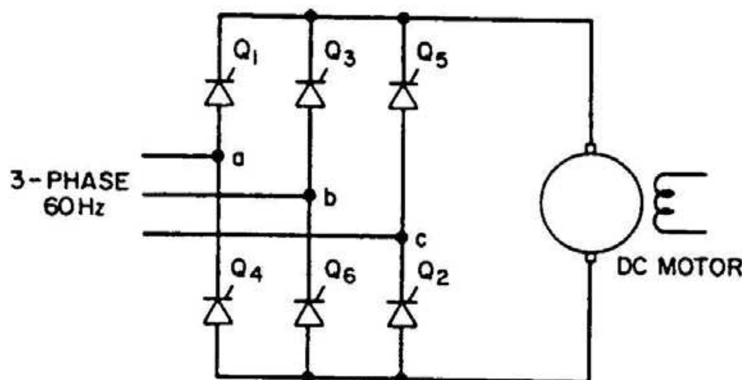
Sistema Ward Leonard (sec XIX)

Esta técnica é composta por 3 máquinas: um motor de indução, um dínamo (gerador CC) e um motor de corrente contínua. A variação de velocidade do motor é feita a partir da variação do campo no gerador. Sua desvantagem é o investimento em 3 máquinas de potência nominal semelhantes.



Conversores Estáticos de Potência

O controle da máquina CC utlizando-se conversores eletrônico é feito da seguinte forma:
A tensão trifásica senoidal é transformada através de uma ponte trifásica de diodos (ou tiristores), gerando uma tensão CC, cujo valor será ligado ao ângulo de chaveamento do tiristor.
Com excitação nominal, à medida de que a tensão de armadura é aumentada, a máquina desenvolve velocidade crescente até que a velocidade nominal seja alcançada quando o ângulo de chaveamento alcança o valor nulo.



Dependendo da aplicação desejada, podemos escolher a forma de acionamento mais indicado:

Quadrantes de operação

Considerando o fluxo magnético constante podemos dizer que o torque está para a corrente de arrmadura assim como a velocidade está para a tensão. Nestas condições podemos definir em um plano torque x velocidade, 4 regiões de operação, como indicado na figura abaixo. Note-se que o mesmo plano pode ser colocado em termos do valor médio da corrente de armadura (Ia) e da força contraeletromotriz de armadura, Eg, caso se suponha constante o fluxo de entreferro.

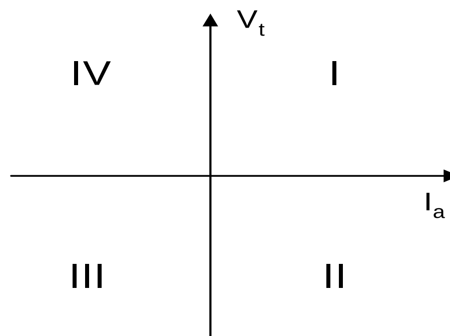
No quadrante I tem-se torque e velocidade positivos, indicando, que a máquina está operando como motor e girando num dado sentido. Em termos de tração, poder-se-ia dizer que se está operando em tração para frente.
No quadrante III, tanto o torque quanto à velocidade são negativos, caracterizando uma operação de aceleração em ré.
Já o quadrante II se caracteriza por um movimento em ré (velocidade negativa) e torque positivo, implicando, assim, numa frenagem.
No quadrante IV, tem-se velocidade positiva e torque negativo, ou seja, frenagem. Tem-se um movimento de avanço, mas com redução da velocidade.
Sintetizando, tem-se a seguinte tabela:

Quadrante	Torque	Velocidade	Sentido de rotação	Variação de velocidade
I	>0	>0	Avante	Acelera
II	>0	<0	Ré	Freia
III	<0	<0	Ré	Acelera
IV	<0	>0	Avante	Freia

Uma outra classificação usual para estes conversores é, ao invés da velocidade, considerar-se a polaridade da tensão média terminal:

- Classe A: Operação no I quadrante
- Classe B: Operação no IV quadrante
- Classe C: Operação no I e IV quadrantes
- Classe D: Operação nos I e II quadrantes
- Classe E: Operação nos 4 quadrantes.

Note-se que não existe uma relação direta entre a polaridade da tensão terminal e o sentido de rotação da MCC, uma vez que, transitoriamente, pode-se ter Vt com uma polaridade e Eg com outra.
Assim, o plano Torque x Velocidade pode ser usado para definir aspectos de tração e frenagem, mas o mesmo não ocorre com o plano Ia x Vt.



	Quadrantes de serviço: na carga / no conversor — Exemplos de conversores aplicáveis
• Unidirecional sem devolução de energia (bomba centrifuga)	
• Unidirecional com devolução de energia (tração) (chopper unidirecional em corrente)	
• Bidirecional (Elevadores)	
• Bidirecional com reversão rápida de sentido (servomecanismo e máq. com controle de posição)	

b) <u>Motores Assíncronos ou de indução</u>

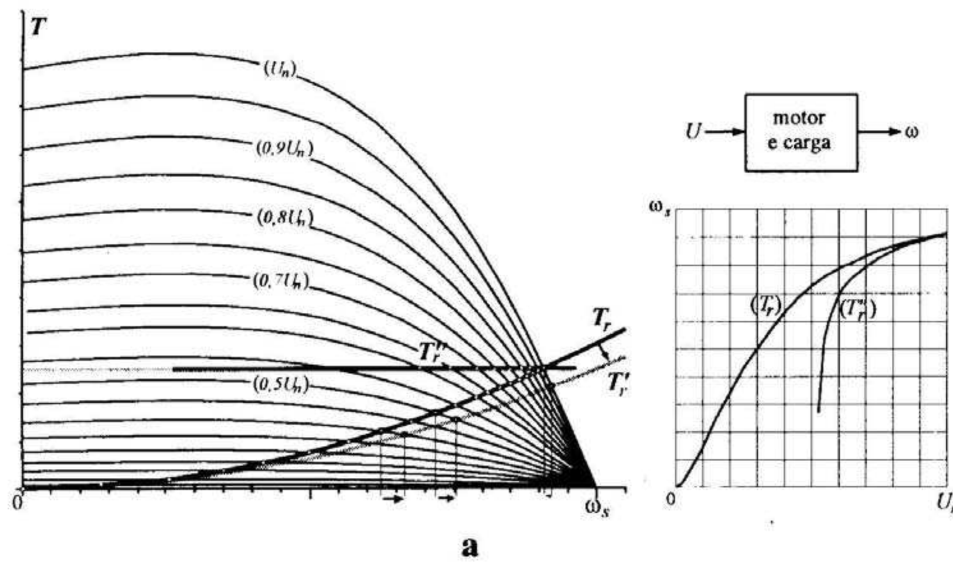
Construtivamente o motor de indução tem o mesmo estator da máquina síncrona,
O motor de Indução com rotor em gaiola de esquilo (Squirrel Cage) é o motor mais utilizado em velocidades fixas e começa a ser o mais usado em velocidades variáveis.

Existem algumas estratégias utilizadas para ao controle de velocidade do motor de indução:

- Variação de tensão com freqüência constante
- Variação simultânea da tensão e freqüência (v/f constante)
- Controle vetorial
- Controle por cascata hipossíncrona

1) Variação de tensão com freqüência constante

É uma estratégia indicada para cargas com características de torque crescente e com baixo valor de torque de arranque (partida) e motores de maior resistência rotórica (classe D)
A máquina fica subexcitada com tensão inferior à nominal e isto reduzirá a disponibilidade de torque (Se a tensão cair pela metade o torque vai a ¼)
Um conversor utilizado é o de comutação natural (diodos)



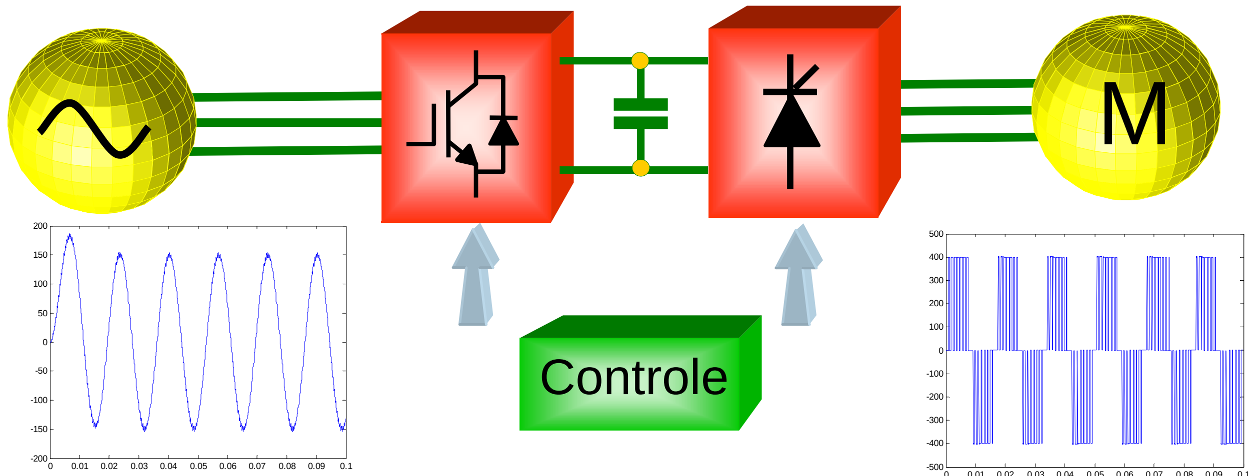
a

2) Variação simultânea de tensão e freqüência (V/F constante)

O objetivo desta estratégia é manter o fluxo nominal no entreferro constante ao variarmos a velocidade e também termos um baixo escorregamento.
O primeiro aspecto (fluxo constante) via obter torque máximo sem saturação e o segundo aspecto (baixo escorregamento) visa garantir um bom rendimento.
No controle Escalar (também conhecido por V/f) são utilizadas, como variáveis, a tensão e a freqüência, as quais são aplicadas diretamente à bobinagem do estator do motor assíncrono trifásico fornecendo ao motor uma relação V/f correspondente.
Esta relação de V/f, ou seja, tensão por freqüência, é fornecida de forma proporcional, limitados até a freqüência de inflexão (freqüência da rede) e tensão de alimentação do conversor (também tensão da rede).
Após a freqüência de inflexão (no caso do Brasil, igual a 60 Hz), os conversores de freqüência têm a capacidade de elevar a freqüência de saída, porém a limitação fica por conta da tensão (limitada à da rede).

Modo de operação

Alimenta-se o conversor de freqüência com tensão trifásica senoidal e freqüência de rede (60 Hz). Esta tensão de entrada é retificada no primeiro bloco do conversor, o bloco retificador (composto por um retificador trifásico), transformando a tensão alternada trifásica senoidal de entrada em tensão contínua com intensidade igual a 1,35 x V entrada. Essa tensão de corrente contínua alimenta diretamente o Circuito Intermediário do conversor, que é constituído pelo barramento de corrente contínua, pelo banco de capacitores. O Retificador também fornece tensão de alimentação para o Circuito de Controle do Conversor de Freqüência, circuito este que é o responsável pelo controle de velocidade propriamente dito e pelo monitoramento das entradas e saídas do equipamento (analógicas e digitais). O Circuito Intermediário alimenta o terceiro bloco do Conversor de Freqüência, o bloco Inversor, que é o responsável pela inversão do sinal retificado de corrente contínua em sinal alternado. Composto por circuitos IGBT, é o bloco Inversor o responsável direto pelo fornecimento da forma de onda PWM de saída do Conversor de Freqüência.



O conversor utilizado é uma ponte trifásica PWM (Pulse Width Modulation)

O funcionamento de um controle PWM é baseado na comparação entre a tensão senoidal de uma fase no estator com uma onda portadora dente de serra em alta freqüência. E a lógica de comparação dá como saída dependendo dos valores de cada uma das onda, um sinal que indica o chaveamento das chaves superiores ou inferiores do conversor.

A forma de onda PWM é gerada através do chaveamento sincronizado dos circuitos IGBT, os quais são compostos por transistores montados no mesmo sentido de condução que, através de um sinal de gatilho, entram em condução. Esta condução é controlada através deste gatilho e este controlado pelo Circuito de Controle do conversor.

O sincronismo dos disparos nos gatilhos dos IGBTs, também é comandado através do Circuito de Controle do conversor de freqüência. Sua intensidade e freqüência de chaveamento determinam a característica e a qualidade da forma de onda de saída fornecida ao motor.

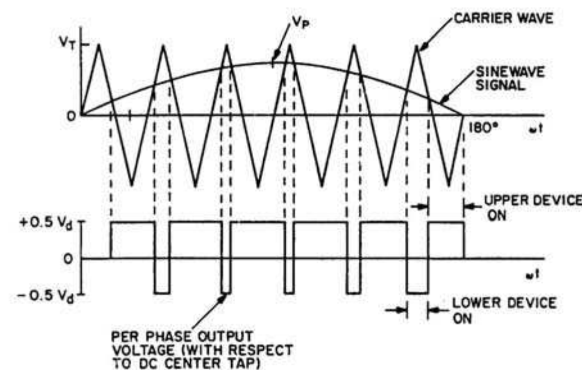
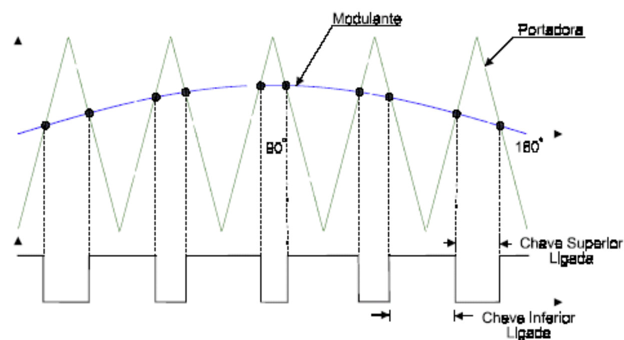
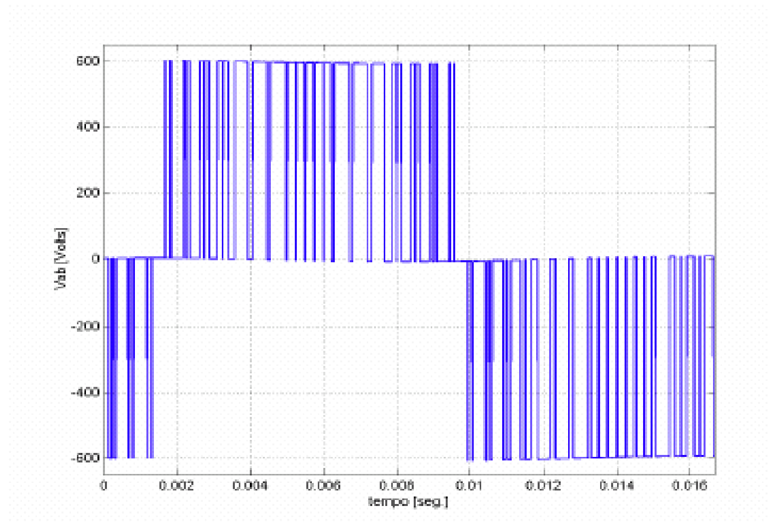
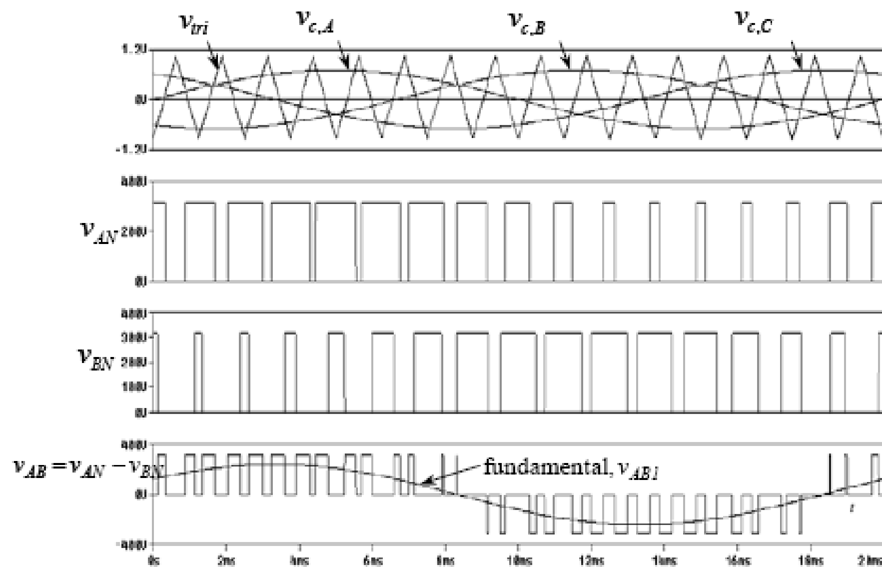


FIGURE 30.44 Sinusoidal pulse width modulation principle.



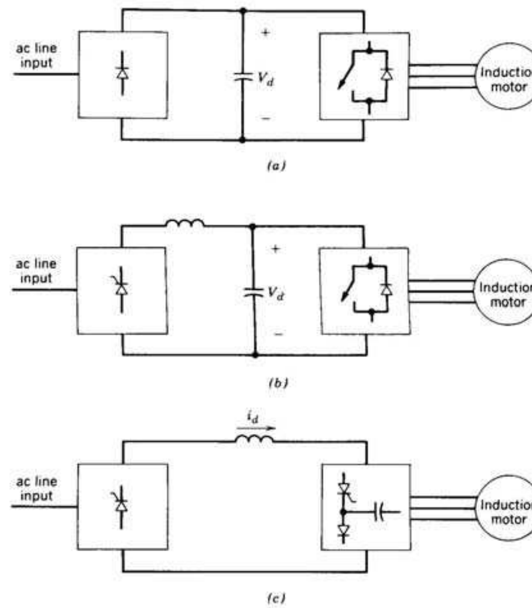




3) Controle vetorial

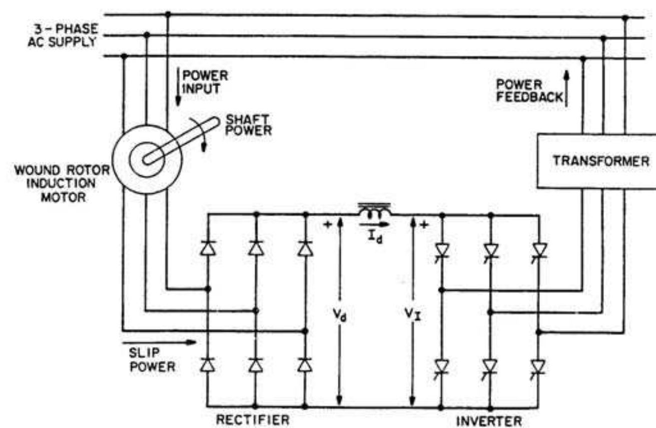
Baseia-se em modelos de regime dinâmico bem mais confiáveis do que em modelos estáticos para o exercício do controle. O sistema de controle usa referencial do fluxo no rotor.

Abaixo apresentamos alguns tipos de ligações com conversores



4) Cascata hipossíncrona

Aplicável a motores de indução com rotor bobinado
A energia dissipada com o escorregamento no momento de partida é devolvida ao sistema de alimentação através de um conversor.
Proporciona um desempenho idêntico ao obtido com a inclusão de resistências rotóricas, porém sem o desperdício de energia.
Como desvantagem temos o fator de potência da linha ser baixo e a máquina ser cara.



Evolução no controle de máquinas elétricas:

Nos últimos anos, o desenvolvimento tecnológico contribuiu imensamente com o avanço no controle de máquinas elétricas.
Tais como: novos microprocessadores (DSP), circuitos integrados de potência (Drives), componentes semicondutores, novos materiais magnéticos (Y Ba Cu O), melhoria nos programas de elementos finitos.

Por isto, os motores recentes têm características diferentes dos chamados motores clássicos:

Motores clássicos	**Novos motores**
Produção de torque essencialmente constante	Produção de torque oscilante
Opera com tensão AC senoidal pura ou DC	Opera com sinais de tensão variáveis
Pode iniciar e continuar a operar sem controle eletrônico	Necessita de circuito eletrônico de acionamento

Novos motores

Motor "PM Brushless DC" – motor CC de imã permanente sem escovas
Motor "Brushless PM AC Synchronous" – motor síncrono CA de imã permanente sem escovas
Motor de passo.
Motor "Switched Reluctance" – motor de relutância Variável

